

**废止**

中华人民共和国国家标准

# 土工试验方法标准

GBJ 123—88



中华人民共和国国家标准

# 土工试验方法标准

**GBJ 123—88**

主编部门：中华人民共和国水利电力部

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：1989年3月1日

## 关于发布《土工试验方法标准》的通知

(88) 建标字 102 号

根据原国家计委计综〔1985〕1号文的要求,由原水利电力部会同有关部门共同编制的《土工试验方法标准》已经有关部门会审。现批准《土工试验方法标准》GBJ 123—88 为国家标准,自 1989 年 3 月 1 日起施行。

本标准由水利部管理,其具体解释等工作由原水利电力部、交通部南京水利科学研究院负责。出版发行由中国计划出版社负责。

中华人民共和国建设部

1988 年 7 月 2 日

## 编制说明

本标准是根据原国家计委计综〔1985〕1号文的要求，由南京水利科学研究院会同有关单位共同编制而成的。

在编制过程中，收集了多年的试验资料，进行了大量的试验论证工作，并参考了国际通用标准和国内外有关的试验标准，经过反复讨论修改而成。在编制过程中，曾多次征求全国各系统有关单位的意见，最后会同有关部门审查定稿。

本标准是为测定土的基本工程性质的试验方法而制订的。内容包括土样和试样制备、含水量、密度、比重、颗粒分析、界限含水量、砂的相对密实度、击实、承载比、渗透、固结、黄土湿陷、三轴压缩、无侧限抗压强度、直接剪切、反复直剪强度、自由膨胀率、膨胀率、膨胀力、收缩、酸碱度以及易溶盐、中溶盐、难溶盐、有机质、离心含水当量等 27 项试验。由于土工试验内容广泛，各项试验又将随着仪器设备的改进和测试技术的提高而不断发展，希望各单位在执行本标准过程中，注意积累资料，总结经验。如有需要修改和补充之处，请将意见和有关资料寄南京水利科学研究院，以便今后修改时参考。

水力电力部

1988 年 3 月

## 主 要 符 号

- A——试样断面积 ( $\text{cm}^2$ );  
A<sub>o</sub>——试样初始断面积 ( $\text{cm}^2$ );  
A<sub>c</sub>——试样固结后断面积 ( $\text{cm}^2$ );  
A<sub>a</sub>——剪切时试样的校正断面积 ( $\text{cm}^2$ );  
A<sub>f</sub>——试样破坏时的孔隙水压力系数;  
a<sub>v</sub>——压缩系数 ( $\text{kPa}^{-1}$ );  
B——初始孔隙水压力系数;  
C<sub>c</sub>——压缩指数;  
C<sub>s</sub>——回弹指数;  
C'——有效凝聚力 ( $\text{kPa}$ );  
C<sub>v</sub>——固结系数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ );  
D——试样的平均直径 (mm);  
D<sub>r</sub>——砂的相对密实度;  
d——试样颗粒粒径 (mm);  
E<sub>s</sub>——土的压缩模量 ( $\text{kPa}$ );  
e<sub>o</sub>——试样的初始孔隙比;  
G<sub>s</sub>——土粒比重;  
g——重力加速度 ( $\text{cm}/\text{s}^2$ ,  $\text{m}/\text{s}^2$ );  
h<sub>o</sub>——试样初始高度 (mm);  
h<sub>c</sub>——试样固结后高度 (mm);  
I<sub>p</sub>——塑性指数;  
K<sub>T</sub>——水温 T℃时试样的渗透系数 ( $\text{cm}/\text{s}$ );  
K<sub>20</sub>——标准温度 (20℃) 时的试样的渗透系数 ( $\text{cm}/\text{s}$ );  
m<sub>o</sub>——风干试验的质量 (g);

- $m_d$ ——试样干质量 (g);
- $m_v$ ——体积压缩系数 ( $\text{kPa}^{-1}$ );
- $N_{\text{CBR}}$ ——承载比;
- $P$ ——单位压力 ( $\text{kPa}$ );
- $q_u$ ——原状土无侧限抗压强度 ( $\text{kPa}$ );
- $q_u'$ ——重塑土无侧限抗压强度 ( $\text{kPa}$ );
- $S_r$ ——饱和度 (%);
- $S_t$ ——土的灵敏度;
- $s_r$ ——土的残余强度 ( $\text{kPa}$ );
- $T$ ——温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $u$ ——孔隙水压力 ( $\text{kPa}$ );
- $V_o$ ——试样初始体积 ( $\text{cm}^3$ );
- $V_c$ ——试样固结后的体积 ( $\text{cm}^3$ );
- $\omega_L$ ——液限 (%);
- $\omega_P$ ——塑限 ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $\omega_s$ ——缩限 (%);
- $\rho_0$ ——试样湿密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );
- $\rho_d$ ——试样干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );
- $\varepsilon_1$ ——轴向应变 (%);
- $\eta_T$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 时水的动力粘滞系数 ( $\text{kPa} \cdot \text{s}$ );
- $\eta_{20}$ —— $20^{\circ}\text{C}$ 时水的动力粘滞系数 ( $\text{kPa} \cdot \text{s}$ );
- $\phi$ ——有效摩擦角 ( $^{\circ}$ );
- $\sigma$ ——法向压力 ( $\text{kPa}$ );
- $\tau$ ——试样的剪应力 ( $\text{kPa}$ );
- $\delta_s$ ——湿陷系数;
- $\delta_{zs}$ ——自重湿陷系数;
- $\delta_{\alpha t}$ ——溶滤变形系数;
- $\delta_{et}$ ——自由膨胀率 (%);
- $\delta_{ep}$ ——有荷载膨胀率 (%);

$\delta_e$ ——无荷载膨胀率 (%)；

$\delta_v$ ——体缩率 (%)；

$\delta_{sl}$ ——线缩率 (%)；

$\lambda_s$ ——收缩系数。

目 录

第一章 总 则 ..... (1)

第二章 土样和试样制备 ..... (2)

第三章 含水量试验..... (8)

第四章 密 度 试 验..... (9)

    第一节 环 刀 法 ..... (9)

    第二节 蜡 封 法 ..... (9)

    第三节 灌 水 法 ..... (11)

    第四节 灌 砂 法 ..... (12)

第五章 比 重 试 验..... (16)

    第一节 一 般 规 定 ..... (16)

    第二节 比 重 瓶 法 ..... (16)

    第三节 浮 称 法 ..... (18)

    第四节 虹 吸 筒 法 ..... (19)

第六章 颗粒分析试验 ..... (22)

    第一节 筛 析 法 ..... (22)

    第二节 密 度 计 法 ..... (24)

    第三节 移 液 管 法 ..... (28)

第七章 界限含水量试验 ..... (32)

    第一节 液、塑限联合测定法 ..... (32)

    第二节 碟 式 仪 法 ..... (33)

    第三节 滚 搓 法 ..... (35)

    第四节 土的缩限试验 ..... (36)

第八章 砂的相对密实度试验 ..... (38)

    第一节 砂的最小干密度试验 ..... (38)

    第二节 砂的最大干密度试验 ..... (39)

|       |             |       |
|-------|-------------|-------|
| 第九章   | 击实试验        | (42)  |
| 第十章   | 承载比试验       | (46)  |
| 第十一章  | 渗透试验        | (49)  |
| 第一节   | 常水头渗透试验     | (49)  |
| 第二节   | 变水头渗透试验     | (53)  |
| 第十二章  | 固结试验        | (55)  |
| 第十三章  | 黄土湿陷试验      | (62)  |
| 第十四章  | 三轴压缩试验      | (66)  |
| 第一节   | 不固结不排水试验    | (66)  |
| 第二节   | 固结不排水试验     | (72)  |
| 第三节   | 固结排水试验      | (78)  |
| 第四节   | 一个试样多级加荷试验  | (80)  |
| 第十五章  | 无侧限抗压强度试验   | (82)  |
| 第十六章  | 直接剪切试验      | (85)  |
| 第一节   | 粘性土的慢剪试验    | (85)  |
| 第二节   | 粘性土的固结快剪试验  | (88)  |
| 第三节   | 粘性土的快剪试验    | (89)  |
| 第四节   | 砂性土的直剪试验    | (89)  |
| 第十七章  | 反复直剪强度试验    | (91)  |
| 第十八章  | 自由膨胀率试验     | (94)  |
| 第十九章  | 膨胀率试验       | (96)  |
| 第一节   | 有荷载膨胀率试验    | (96)  |
| 第二节   | 无荷载膨胀率试验    | (97)  |
| 第二十章  | 膨胀力试验       | (99)  |
| 第二十一章 | 收缩试验        | (101) |
| 第二十二章 | 酸碱度试验       | (104) |
| 第二十三章 | 易溶盐试验       | (106) |
| 第一节   | 浸出液制取       | (106) |
| 第二节   | 易溶盐总量测定     | (106) |
| 第三节   | 碳酸根及重碳酸根的测定 | (107) |

|       |                                   |       |
|-------|-----------------------------------|-------|
| 第四节   | 氯根的测定 .....                       | (110) |
| 第五节   | 硫酸根的测定 .....                      | (111) |
| 第六节   | 钙离子的测定 .....                      | (116) |
| 第七节   | 镁离子的测定 .....                      | (117) |
| 第八节   | 钙离子和镁离子的原子吸收分光光度法<br>测定 .....     | (117) |
| 第九节   | 钠离子和钾离子的测定 .....                  | (119) |
| 第二十四章 | 中溶盐石膏试验 .....                     | (122) |
| 第二十五章 | 难溶盐碳酸钙试验 .....                    | (125) |
| 第二十六章 | 有机质试验 .....                       | (127) |
| 第二十七章 | 土的离心含水当量试验 .....                  | (129) |
| 附录一   | 习用的非法定计量单位与法定计量单位的<br>换算关系表 ..... | (132) |
| 附录二   | 名 词 解 释 .....                     | (133) |
| 附录三   | 本标准用词说明 .....                     | (135) |
| 附加说明  | .....                             | (136) |

## 第一章 总 则

**第 1.0.1 条** 为了测定土的基本工程性质,统一试验方法,并为工程设计和施工提供可靠的计算参数,特制订本标准。

**第 1.0.2 条** 本标准适用于工业与民用建筑、交通、水利等各类工程的地基土及填筑土料的基本工程性质试验。

第二章 土样和试样制备

第 2.0.1 条 本试验方法适用于颗粒粒径小于 60mm 的原状土和扰动土。

第 2.0.2 条 试验所需土样的数量，宜符合表 2.0.2 的规定，并应附取土记录及土样现场描述。原状土样应符合下列要求：

- 一、土样蜡封应严密，保管和运输过程中不得受震、受热、受冻。
- 二、土样取样过程中不得受压、受挤、受扭。
- 三、土样应充满取样筒。

| 试验取样数量和筛标准                |     |             |       |             | 表 2.0.2 |          |
|---------------------------|-----|-------------|-------|-------------|---------|----------|
| 土 样<br>数 量<br>类 别<br>试验项目 | 土 类 | 粘 性 土       |       | 砂 性 土       |         | 过筛<br>标准 |
|                           |     | 原状土         | 扰动土   | 原状土         | 扰动土     |          |
|                           |     | (筒)Ø10×20cm | (g)   | (筒)Ø10×20cm | (g)     | (mm)     |
| 含 水 量                     |     |             | >300  |             | >500    |          |
| 比 重                       |     |             | >300  |             | >500    |          |
| 颗 粒 分 析                   |     |             | >300  |             | >500    |          |
| 界限含水量                     |     |             | >500  |             |         | <0.5     |
| 密 度                       |     | 1           |       | 1           |         |          |
| 固 结                       |     | 1           | >2000 |             |         | <2.0     |
| 黄 土 湿 陷                   |     | 1           |       |             |         |          |
| 三 轴 压 缩                   |     | 2           | >5000 |             | >5000   | <2.0     |
| 膨胀、收缩                     |     | 2           | >2000 |             |         | <2.0     |
| 直 剪                       |     | 1           | >2000 |             | >3000   | <2.0     |

续表

| 土样数量   | 土类 | 粘性土          |          | 砂性土          |       | 过筛标准 |
|--------|----|--------------|----------|--------------|-------|------|
|        |    | 原状土          | 扰动土      | 原状土          | 扰动土   |      |
|        |    | (筒) Ø10×20cm | (g)      | (筒) Ø10×20cm | (g)   |      |
| 试验项目   |    |              |          |              |       | (mm) |
| 击实、承载比 |    |              | 轻型>15000 |              |       | <5.0 |
|        |    |              | 重型>30000 |              |       |      |
| 无侧限    |    | 1            |          |              |       |      |
| 反复直剪   |    | 1            | >2000    |              |       | <2.0 |
| 相对密实度  |    |              |          |              | >2000 |      |
| 渗透     |    | 1            | >1000    |              | >2000 | <2.0 |
| 化学分析   |    |              | >300     |              |       | <2.0 |
| 离心含水当量 |    |              | >300     |              |       | <0.5 |

第 2.0.3 条 原状土样和需要保持天然湿度的扰动土样在试验前应妥善保管，并应采取防止水份蒸发的措施。

第 2.0.4 条 试验后的余土，应妥善贮存，并作标记。当无特殊要求时，余土的贮存期宜为 3 个月。

第 2.0.5 条 土样和试样制备所需的仪器设备，应符合下列规定：

- 一、细筛：孔径 0.5mm、2mm、5mm。
- 二、洗筛：孔径 0.074mm。
- 三、台称：称量 10~15kg，感量 10g。
- 四、天平：称量 1000g，感量 0.1g；称量 200g，感量 0.01g。
- 五、抽气设备：应附真空测压表和真空缸。

第 2.0.6 条 原状土试样制备，应按下列步骤进行：

- 一、土样应按自然沉积方向放置，剥去蜡封和胶带，开启土样筒取出土样。
- 二、根据试验要求用环刀切取试样时，应在环刀内壁涂一薄层凡士林，刃口向下放在土样上，将环刀垂直下压，并用切土刀

沿环刀外侧切削土样，边压边削至土样高出环刀，用钢丝锯整平环刀两端土样，擦净环刀外壁，称环刀和土的总质量，并取余土测定含水量。

二、将风干后的土样在橡皮板上用木碾碾碎，也可在碎土机内粉碎。

三、切削试样时，应对土样层次、气味、颜色、杂质、裂缝和均匀性进行描述，对低塑性和高灵敏度的软土，制样时不得扰动。

四、一组试样之间的密度差值不得大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，含水量差值不得大于 2%。

**第 2.0.7 条** 扰动土试样的备样，应按下列步骤进行：

一、对土样的颜色、气味、夹杂物和土类进行描述，并将土拌匀，取代表性土样测定含水量。

二、将风干的土样在橡皮板上用木碾碾碎，也可在碎机内粉碎。

三、对粉碎后的粘性土样和砂性土样，应按本标准表 2.0.2 的要求过筛。对含粘性土的砾质土，应先用水浸泡并充分搅拌，使粗细颗粒分离后，将土样在 2mm 筛上冲洗。取筛下土样风干后，充分拌匀，用四分取样法取出代表性土样，标明工程名称、土样编号、过筛孔径、试验名称和制备日期，分别装入盛土容器内，并测定风干土样的含水量。

四、根据试验项目，称取过筛的风干土样，平铺于搪瓷盘内，应按本标准第 2.0.13 条计算制备试样所需的加水量，将水均匀喷洒于土样上，充分拌匀后装入盛土容器内盖紧，润湿一昼夜，砂性土的润湿时间可酌减。

五、测定润湿土样不同位置处的含水量，不应少于两点。含水量差值应符合本标准第 3.0.5 条规定。

**第 2.0.8 条** 扰动土试样的制样，应按下列步骤进行：

一、试样的数量视试验项目确定，应有备用试样 1—2 个。一组试样的密度与要求的密度之差不得大于  $\pm 0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ，一组试

样的含水量与要求的含水量之差不得大于±1%。

二、当制备试样时，根据环刀容积及所需的干密度和含水量，应按本标准第 2.0.12 条和第 2.0.13 条计算干土质量和所加水量制备湿土样，并宜采用击样法和压样法。

1. 击样法：将一定量的湿土分三层倒入装有环刀的击实器内，击实至所需密度。

2. 压样法：将一定量的湿土倒入装有环刀的压样器内，拂平土面，以静压力将土压入环刀内。

三、取出环刀，称环刀和土的总质量。

第 2.0.9 条 对不需要饱和又不立即进行试验的试样，应存放在保湿容器内；对需要饱和的试样，应根据土的性质选用下列饱和方法；

一、砂性土采用浸水饱和法。

二、渗透系数大于  $10^{-4}\text{cm/s}$  的粘性土采用毛细管饱和法；渗透系数小于、等于  $10^{-4}\text{cm/s}$  的粘性土采用抽气饱和法。

第 2.0.10 条 毛细管饱和法，应按下列步骤进行：

一、选用叠式或框式饱和器(图 2.0.10)，试样上、下面放滤

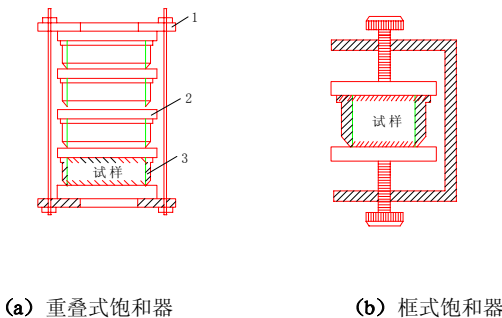


图 2.0.10 饱和器  
1—夹板；2—透水石；3—环刀

- 纸和透水石，装入饱和器内，并旋紧螺母。
- 二、将装好的饱和器放入水箱内，注入清水，水面不宜将试样淹没，关箱盖。浸水时间不得少于两昼夜。
- 三、取出饱和器，松开螺母，取出环刀，擦干外壁，称环刀和土的总质量。

**第 2.0.11 条** 抽气饱和法，应按下列步骤进行：

- 一、选用真空饱和装置（图 2.0.11），将装有试样的饱和器放入真空缸，真空缸与盖之间涂一层凡士林，盖紧。

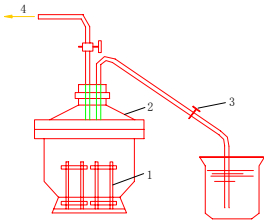


图 2.0.11 真空饱和装置

1—饱和器，2—真空缸，3—管夹，4—接抽气机。

- 二、将抽气机与真空缸接通，开动抽气机。当真空压力表读数与一个大气压力值相等时微开管夹，使清水徐徐注入真空缸。在注水过程中，真空压力表读数宜保持不变。
- 三、待水淹没饱和器，停止抽气。开管夹使空气流入真空缸。静止一段时间，粘性土宜为 10h。
- 四、打开真空缸，从饱和器内取出试样，称试样质量，并计算饱和度。当饱和度低于 95% 时，应继续抽气饱和。

**第 2.0.12 条** 干土的质量应按下式计算：

$$m_d = \frac{m_0}{1 + \omega_0} \quad (2.0.12)$$

式中  $m_d$ ——干土质量 (g);  
 $m_0$ ——风干土 (或天然土) 质量 (g);  
 $\omega_0$ ——风干土 (或天然土) 含水量 (%).

第 2.0.13 条 制样所需的加水量, 应按下式计算:

$$m_w = \frac{m_0}{1 + \omega_1} (\omega_1 - \omega_0) \quad (2.0.13)$$

式中  $m_w$ ——制样所需的加水量 (g);  
 $\omega_1$ ——试样要求的含水量 (%).

第 2.0.14 条 制备扰动土试样所需的土质量, 应按下式计算:

$$m_0 = (1 + \omega_0) \rho_d V \quad (2.0.14)$$

式中  $\rho_d$ ——试样要求的干密度 (g/cm<sup>3</sup>);  
 $V$ ——环刀的容积 (cm<sup>3</sup>).

第 2.0.15 条 试样的饱和度, 应按下式计算:

$$S_r = \frac{\omega_s G_s}{e} \quad (2.0.15)$$

式中  $S_r$ ——试样的饱和度 (%);  
 $\omega_s$ ——试样饱和后的含水量 (%);  
 $G_s$ ——土粒比重;  
 $e$ ——试样的孔隙比。

### 第三章 含水量试验

**第 3.0.1 条** 本试验方法适用于粘性土、砂性土和有机质土类。

**第 3.0.2 条** 含水量试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

烘箱：应能控制温度为 105~110℃。

**第 3.0.3 条** 含水量试验，应按下列步骤进行：

一、取具有代表性试样，粘性土为 15~20g，砂性土、有机质土为 50g，放入称量盒内，盖上盒盖，称湿土质量，精确至 0.01g。

二、打开盒盖，将盒置于烘箱内，在 105~110℃的恒温下烘干。烘干时间对粘性土不得少于 8h，对砂性土不得少于 6h。对含有机质超过 5%的土，应将温度控制在 65~70℃的恒温下烘干。

三、将称量盒从烘箱中取出，盖上盒盖，放入干燥容器内冷却至室温，称干土质量，精确至 0.01g。

**第 3.0.4 条** 试样的含水量，应按下列式计算，精确至 0.1%。

$$\omega_0 = \left( \frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (3.0.4)$$

**第 3.0.5 条** 含水量试验应进行两次平行测定，两次测定的差值，当含水量小于 40%时不得大于 1%；当含水量等于、大于 40%时不得大于 2%。取两次测值的平均值。

**第 3.0.6 条** 含水量试验的记录，应包括工程编号、试样编号、湿土质量、干土质量。

## 第四章 密 度 试 验

### 第一节 环 刀 法

第 4.1.1 条 本试验方法适用于粘性土。

第 4.1.2 条 环刀法密度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、环刀：内径为  $61.8 \pm 0.15\text{mm}$  和  $79.8 \pm 0.15\text{mm}$ ，高度为  $20 \pm 0.016\text{mm}$ 。

二、天平：称量 500g，感量 0.1g；称量 200g，感量 0.01g。

第 4.1.3 条 环刀法测定密度，应按本标准第 2.0.6 条第二款进行。

第 4.1.4 条 试样的湿密度，应按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (4.1.4)$$

式中  $\rho_0$ ——试样的湿密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

第 4.1.5 条 试样的干密度，应按下式计算：

$$\rho_d = \frac{\rho_0}{1 + \omega_1} \quad (4.1.5)$$

第 4.1.6 条 环刀法密度试验应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，取两次测值的平均值。

第 4.1.7 条 环刀法密度试验的记录，应包括工程编号、试样编号、环刀编号、试样含水量、试样质量和试样体积。

### 第二节 蜡 封 法

第 4.2.1 条 本试验方法适用于易破裂土和形状不规则的坚

硬土。

**第 4.2.2 条** 蜡封法密度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

蜡封设备：应附熔蜡加热器。

**第 4.2.3 条** 蜡封法密度试验，应按下列步骤进行：

一、取具有代表性的试样，清除表面浮土及尖锐棱角，系上细线，称试样质量，精确至 0.01g。

二、持线将试样缓缓浸入过熔点的蜡液中，浸没后立即提出，检查试样周围的蜡膜。当有气泡时应用针刺破，再用蜡液补平，冷却后称蜡封试样质量。

三、将蜡封试样挂在天平的一端，浸没于盛有纯水的烧杯中，测定蜡封试样在纯水中的质量，并测定纯水的温度。

四、取出试样，擦干蜡面上的水分，称蜡封试样质量。当浸水后试样质量增加时，应另取试样重做试验。

**第 4.2.4 条** 试样的密度，应按下列式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_0}{\frac{m_w - m'}{\rho_w} - \frac{m_w - m_0}{\rho_{\text{蜡}}}} \quad (4.2.4)$$

式中  $m_w$ ——蜡封试样质量 (g)；

$m'$ ——蜡封试样在纯水中的质量 (g)；

$\rho_{\text{蜡}}$ ——纯水在  $T^\circ\text{C}$  时的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )；

$\rho_w$ ——蜡的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

**第 4.2.5 条** 试样的干密度，应按 4.1.5 式计算。

**第 4.2.6 条** 蜡封法密度试验应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，取两次测值的平均值。

**第 4.2.7 条** 蜡封法密度试验的记录，应包括工程编号、试验编号、试样含水量、试样质量、蜡封试样质量、蜡封试样在纯水中的质量及水的密度和蜡的密度。

第三节 灌 水 法

第 4.3.1 条 本试验方法适用于现场测定原状砂和砾质土的密度。

第 4.3.2 条 灌水法密度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 一、储水筒：直径应均匀，并附有刻度。
- 二、台称：称量 50kg，感量 5g。

第 4.3.3 条 灌水法密度试验，应按下列步骤进行：

- 一、根据试样最大粒径宜按表 4.3.3 确定试坑尺寸。

| 试 坑 尺 寸        |             |     | 表 4.3.3 |
|----------------|-------------|-----|---------|
| 试样最大粒径<br>(mm) | 试 坑 尺 寸(mm) |     |         |
|                | 直 径         | 深 度 |         |
| 5~20           | 150         | 200 |         |
| 40             | 200         | 250 |         |
| 60             | 250         | 300 |         |

- 二、将选定的试坑地面整平。

三、按确定的试坑直径划出坑口轮廓线，在轮廓线内下挖至要求深度，将落于坑内的试样装入盛土容器内，称试样质量，精确至 5g；并应测定含水量。

- 四、试坑挖好后，将大于试坑容积的塑料薄膜袋平铺于坑内。

五、记录储水筒内初始水位高度，拧开储水筒的注水管开关，将水缓慢注入塑料薄膜袋中。当袋内水面接近坑口时，将水流调小，直至袋内水面与坑口齐平时关闭注水管，持续 3~5min，记录储水筒内水位高度。当袋内出现水面下降时，应另取塑料薄膜袋重做试验。

第 4.3.4 条 试坑的体积，应按下列公式计算：

$$V_P = (H_1 - H_2) \cdot A_w \quad (4.3.4)$$

式中  $V_P$ ——试坑体积 ( $\text{cm}^3$ )；

$A_w$ ——储水筒断面积 ( $\text{cm}^2$ )；

$H_1$ ——储水筒内初始水位高度 ( $\text{cm}$ )；

$H_2$ ——储水筒内注水终了时水位高度 ( $\text{cm}$ )。

第 4.3.5 条 试样的密度，应按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_P}{V_P} \quad (4.3.5)$$

式中  $m_P$ ——取自试坑内的试样质量 ( $\text{g}$ )。

第 4.3.6 条 试样的干密度，应按 4.1.5 式计算：

第 4.3.7 条 灌水法密度试验应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，取两次测值的平均值。

第 4.3.8 条 灌水法密度试验的记录，应包括工程编号、试坑编号、试坑尺寸、试样最大粒径、储水筒断面积和盛土容器质量。

#### 第四节 灌 砂 法

第 4.4.1 条 本试验方法适用于现场测定原状砂和砾质土的密度。

第 4.4.2 条 灌砂法密度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、密度测定器：由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成（图 4.4.2）。灌砂漏斗高 135mm，直径  $\varnothing 165\text{mm}$ ，容砂瓶容积为 4l。容砂瓶与灌砂漏斗之间用螺纹联接。灌砂漏斗尾部有园柱形阀门，孔径为 13mm，底盘承托灌砂漏斗和容砂瓶。

二、天平：称量 10kg，感量 10g，称量 500g，感量 0.1g。

第 4.4.3 条 标准砂密度的测定，应按下列步骤进行：

一、标准砂应清洗洁净，粒径宜为 0.25~0.50mm，密度宜

为  $1.47\sim 1.51\text{g}/\text{cm}^3$ 。

二、组装容砂瓶与灌砂漏斗，螺纹联接处应旋紧。称密度测定器的质量。

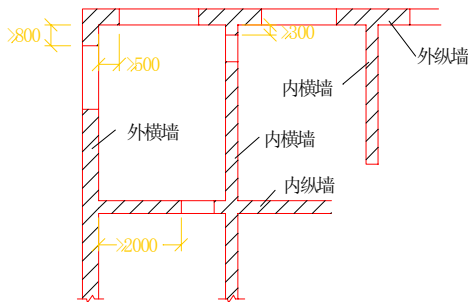


图 4.4.2 密度测定器

1—容砂瓶 2—螺纹接头 3—阀门 4—灌砂漏斗

三、将密度测定器竖立，灌砂漏斗口向上，打开阀门，向容砂瓶内注水至水面高出阀门，关阀门，倒掉多余水。称密度测定器和水的总质量，并测定水温。应按本标准表 4.4.3 将水的质量换算成体积，重复测定 3 次，3 次测值之间的差值不得大于  $3\text{ml}$ ，取三次测值的平均值。

四、将空的密度测定器竖立，关阀门，在灌砂漏斗中注满标准砂，打开阀门将灌砂漏斗内的标准砂漏入容砂瓶，继续向灌砂

漏斗内注砂；当注满容砂瓶时迅速关闭阀门。倒掉多余的砂，称密度测定器和标准砂的总质量。试验中应避免震动。

不同水温时每克水的体积 表 4.4.3

| 水 温 ℃ | 每 克 水 体 积 ml |
|-------|--------------|
| 12    | 1.00048      |
| 14    | 1.00073      |
| 16    | 1.00103      |
| 18    | 1.00138      |
| 20    | 1.00177      |
| 22    | 1.00221      |
| 24    | 1.00268      |
| 26    | 1.00320      |
| 28    | 1.00375      |
| 30    | 1.00435      |
| 32    | 1.00497      |

第 4.4.4 条 容砂瓶的容积，应按下式计算：

$$V_r = (m_{r2} - m_{r1}) \cdot V_w \tag{4.4.4}$$

式中  $V_r$ ——容砂瓶容积 (ml)；  
 $m_{r2}$ ——密度测定器和水的总质量 (g)；  
 $m_{r1}$ ——密度测定器质量 (g)；  
 $V_w$ ——不同水温时每克水的体积 (ml/g)。

第 4.4.5 条 标准砂的密度，应按下式计算：

$$\rho_s = \frac{m_{r3} - m_{r1}}{V_r} \tag{4.4.5}$$

式中  $\rho_s$ ——标准砂的密度 (g/cm³)；  
 $m_{r3}$ ——密度测定器和标准砂的总质量 (g)。

第 4.4.6 条 灌砂法密度试验，应按下列步骤进行：

- 一、按本标准第 4.3.3 条之一至三款挖好试坑。
- 二、容砂瓶内注满砂，称密度测定器和砂的总质量。
- 三、将密度测定器倒置（容砂瓶向上）于挖好的坑口上，打开阀门，标准砂注入试坑。当标准砂注满试坑时关闭阀门。称密度测定器和余砂的总质量，并计算注满试坑所用的标准砂质量。在注砂过程中不应震动。

第 4.4.7 条 试样的密度，应按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_p}{\frac{m_s}{\rho_s}} \quad (4.4.7)$$

式中  $m_s$ ——注满试坑所用标准砂质量 (g)。

第 4.4.8 条 试样的干密度，应按下式计算，并应精确至 0.01g/cm<sup>3</sup>。

$$\rho_d = \frac{\frac{m_p}{1+\omega_1}}{\frac{m_s}{\rho_s}} \quad (4.4.8)$$

第 4.4.9 条 灌砂法密度试验的记录，应包括工程编号、试坑编号、试坑尺寸、试样粒径、标准砂粒径、标准砂密度、密度测定器容积、盛土容器编号、挖出试样质量和含水量。

## 第五章 比 重 试 验

### 第一节 一 般 规 定

**第 5.1.1 条** 由大于、等于和小于 5mm 土颗粒组成的土，应分别采用比重瓶法、浮称法和虹吸管法测定粗细颗粒比重。

**第 5.1.2 条** 土颗粒的平均比重，应按下式计算：

$$G_{sm}=G_{s1} \cdot P_1+G_{s2} \cdot P_2 \quad (5.1.2)$$

式中  $G_{sm}$ ——土颗粒平均比重；

$G_{s1}$ ——粒径大于、等于 5mm 的土颗粒比重；

$G_{s2}$ ——粒径小于 5mm 的土颗粒比重；

$P_1$ ——粒径大于、等于 5mm 的土颗粒质量占试样总质量的百分比 (%)；

$P_2$ ——粒径小于 5mm 的土颗粒质量占试样总质量的百分比 (%)。

### 第二节 比 重 瓶 法

**第 5.2.1 条** 本试验方法适用于粒径小于 5mm 的土。

**第 5.2.2 条** 比重瓶法比重试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、比重瓶：容积 100ml 和 50ml，分长颈和短颈两种。

二、恒温水槽：精度应为  $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

三、砂浴：应能调节温度。

四、天平：称量 200g，感量 0.001g。

五、温度计：刻度为  $0\sim 50^\circ\text{C}$ ，分度值为  $0.5^\circ\text{C}$ 。

**第 5.2.3 条** 比重瓶的校正，应按下列步骤进行：

一、将比重瓶洗净、烘干，称比重瓶质量，精确至 0.001g。

二、将煮沸经冷却的纯水注入比重瓶。对长颈比重瓶注水至刻度处，对短颈比重瓶应注满纯水，塞紧瓶塞，多余水分自瓶塞毛细管中溢出。将比重瓶放入恒温水槽直至瓶内水温稳定。取出比重瓶，擦干外壁，称瓶、水总质量，精确至  $0.001\text{g}$ 。并测定恒温水槽内水温，精确至  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

三、调节数个恒温水槽内的温度，温度差宜为  $5^{\circ}\text{C}$ ，测定不同温度下的比重瓶、水总质量。每个温度时均应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于  $0.002\text{g}$ ，取两次测值的平均值。绘制温度与瓶、水总质量关系曲线。

**第 5.2.4 条** 比重瓶法比重试验的试样制备，应按本标准第 2.0.7 条之一、二、三款步骤进行。

**第 5.2.5 条** 比重瓶法比重试验，应按下列步骤进行：

一、将比重瓶烘干。称烘干试样  $15\text{g}$ （当用  $50\text{ml}$  的比重瓶时称烘干试样  $10\text{g}$ ）装入比重瓶，称瓶和试样总质量，精确至  $0.001\text{g}$ 。

二、向比重瓶内注入半瓶纯水或中性液体，摇动比重瓶，并放在砂浴上煮沸。悬液土煮沸时间为：砂性土不应少于  $30\text{min}$ ；粘性土不应少于  $1\text{h}$ 。沸腾后应调节砂浴温度，比重瓶内悬液不得溢出。对砂性土宜用真空抽气法；对含有可溶盐、有机质和亲水性胶体的土用中性液体代替纯水时，应用真空抽气法排气。真空压力表读数宜为  $100\text{kpa}$ ，抽气时间不宜小于  $1\text{h}$ 。

三、将煮沸经冷却的纯水或中性液体注入装有试样的比重瓶。当用长颈瓶时注纯水至刻度处；当用短颈瓶时应将纯水注满，塞紧瓶塞，多余水份可自瓶塞毛细管中溢出。将比重瓶置于恒温水槽内至温度稳定，且瓶内上部悬液澄清。取出比重瓶，擦干瓶外壁，称比重瓶、水、试样总质量，精确至  $0.001\text{g}$ ；并应测定瓶内水的温度，精确至  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

四、从温度与瓶、水总质量关系曲线中查得各试验温度下的比重瓶、水总质量。

**第 5.2.6 条** 土粒的比重，应按下列式计算：

$$G_s = \frac{m_d}{m_{bw} + m_d - m_{bws}} \cdot G_R \tag{5.2.6}$$

式中  $m_{bw}$ ——比重瓶、水总质量 (g);  
 $m_{bws}$ ——比重瓶、水、土总质量 (g);  
 $G_R$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 时纯水或中性液体的比重。水的比重可查物理手册; 中性液体的比重应实测, 称量应精确至 0.001g。

第 5.2.7 条 比重瓶法比重试验, 应进行两次平行测定, 两次测定的差值不得大于 0.02, 取两次测值的平均值。

第 5.2.8 条 比重瓶法比重试验的记录, 应包括工程编号、试样编号、比重瓶编号、干土质量、瓶、水总质量, 瓶、水、试样总质量和悬液温度。

第三节 浮 称 法

第 5.3.1 条 本试验方法适用于粒径等于、大于 5mm 的土, 且其中粒径为 20mm 的土质量应小于总土质量的 10%。

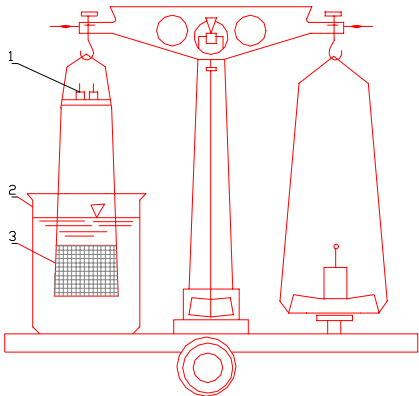


图 5.3.2 浮称天平

1—调平衡砝码盘; 2—盛水容器; 3—盛粗粒土的铁丝筐

**第 5.3.2 条** 浮称法比重试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、铁丝筐：孔径小于 5mm，边长为 10~15cm，高为 10~20cm。

二、盛水容器：尺寸应大于铁丝筐。

三、浮称天平：(图 5.3.2) 称量 2000g，感量 2g。

**第 5.3.3 条** 浮称法比重试验，应按下列步骤进行：

一、取代表性试样 500~1000g，将试样表面清洗洁净，浸入水中一昼夜后取出，放入铁丝筐并缓慢地将铁丝筐浸没于水中，在水中摇动至试样中无气泡逸出。

二、测定铁丝筐和试样在水中的质量，取出试样烘干，并称烘干试样质量。

三、测定铁丝筐在水中的质量。测定盛水容器内水温，精确至 0.5℃。

**第 5.3.4 条** 土粒的比重，应按下列式计算：

$$G_s = \frac{m_d}{m_d - (m_{IS} - m_I)} \cdot G_{wt} \quad (5.3.4)$$

式中  $m_{IS}$ ——铁丝筐和试样在水中质量 (g)；

$m_I$ ——铁丝筐在水中质量 (g)；

$G_{wt}$ ——不同温度时水的比重，查有关物理手册。

**第 5.3.5 条** 浮称法比重试验应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于 0.02，取两次测值的平均值。

**第 5.3.6 条** 浮称法比重试验的记录，应包括工程编号、试样编号、铁丝筐编号、烘干试样质量、试样和铁丝筐在水中质量，铁丝筐在水中质量，水的比重和水温。

#### 第四节 虹 吸 筒 法

**第 5.4.1 条** 本试验方法适用于粒径等于、大于 5mm 的土，且其中粒径为 20mm 土的含量大于、等于总土质量的 10%。

**第 5.4.2 条** 虹吸筒法比重试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

一、虹吸筒装置（图 5.4.2）：由虹吸筒和虹吸管组成。

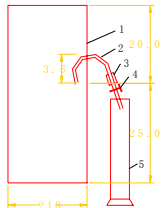


图 5.4.2 虹吸筒

1—虹吸筒；2—虹吸管；3—橡皮管；4—管夹；5—量筒

二、天平：称量 1000g，感量 0.1g。

三、量筒：容积应大于 200ml。

**第 5.4.3 条** 虹吸法比重试验，应按下列步骤进行：

一、取代表性试样 700~1000g，试样应清洗洁净。浸入水中一昼夜后取出晾干，对大颗粒试样宜用干布擦干表面。并称晾干试样质量。

二、将清水注入虹吸筒至虹吸管口有水溢出时关管夹，试样缓缓放入虹吸筒中，边放边搅拌，至试样中无气泡逸出。搅动时水不得溅出筒外。

三、当虹吸筒内水面平稳时开管夹，让试样排开的水通过虹吸管流入量筒，称量筒与水的总质量，精确至 0.5g。并测量量筒内水温，精确至 0.5℃

四、取出试样，烘干，称烘干试样质置，精确至 0.1g。称量

筒质量，精确至 0.5g。

第 5.4.4 条 土粒的比重，应按下式计算：

$$G_s = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c) - (m_{ad} - m_d)} \cdot G_{wt} \quad (5.4.4)$$

式中  $m_c$ ——量筒质量 (g)；

$m_{cw}$ ——量筒与水的总质量 (g)；

$m_{ad}$ ——晾干试样的质量 (g)。

第 5.4.5 条 虹吸筒法比重试验应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于 0.02，取两次测值的平均值。

第 5.4.6 条 虹吸筒法比重试验的记录，应包括工程编号、试样编号、量筒质量、晾干试样质量、量筒和水的总质量及水温。

第六章 颗粒分析试验

第一节 筛析法

第 6.1.1 条 本试验方法适用于粒径小于、等于 60mm，大于 0.074mm 的土。

第 6.1.2 条 筛析法颗粒分析试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、分析筛：

- 1. 粗筛：圆孔。孔径为 60、40、20、10、5、2mm。
- 2. 细筛：孔径为 2.0、1.0、0.5、0.25、0.1、0.074mm。

二、天平：称量 5000g，感量 1g；称量 1000g，感量 0.1g；称量 200g，感量 0.01g。

三、筛析机：筛析过程中应能上下震动。

第 6.1.3 条 筛析法的取样数量应符合表 6.1.3 的规定：

| 取 样 数 量      |             | 表 6.1.3 |
|--------------|-------------|---------|
| 粒 径 尺 寸 (mm) | 取 样 数 量 (g) |         |
| <2           | 100~300     |         |
| <10          | 300~900     |         |
| <20          | 1000~2000   |         |
| <40          | 2000~4000   |         |
| ≥40          | 4000 以上     |         |

第 6.1.4 条 砂性土的筛析法颗粒分析试验，应按下列步骤进行：

一、按本标准表 6.1.3 规定称取试样质量，精确至 0.1g，当试样质量多于 500g 时应精确至 1g。

二、将试样过 2mm 筛，称筛上和筛下的土样质量。当筛下的试样质量小于试样总质量的 10% 时，不作细筛分析；筛上的试样质量小于试样总质量的 10% 时，可不作粗筛分析。

三、取筛上试样倒入依次叠好的粗筛中，筛下试样倒入依次叠好的细筛中，进行筛析。细筛宜置于筛析机上震筛，震筛时间宜为 10~15min。再按由上而下的顺序将各筛取下，称各级筛上及底盘内试样的质量，精确至 0.1g。

四、各筛中试样质量的总和与试样总质量的差值，不得大于试样总质量的 1%。

**第 6.1.5 条** 含有粘土颗粒的砂性土，筛析法颗粒分析试验，应按下列步骤进行：

一、按本标准表 6.1.3 规定称取代表性试验，置于盛水容器中充分搅拌，应使试样的粗细颗粒分离。

二、将水、试样悬液过 2mm 筛，取筛上试样烘干，称烘干试样质量，精确至 0.1g，并按本标准第 6.1.4 条之三、四款规定进行粗筛分析。

三、用带橡皮头的研杆研磨 2mm 筛下的悬液，过 0.074mm 筛。并将筛上试验烘干，称烘干试样质量，精确至 0.1g，并按本标准第 6.1.4 条之三、四款进行细筛分析。

四、当粒径小于 0.074mm 的试样质量大于试样总质量的 10% 时，应按密度计法或移液管法测定小于 0.074mm 的颗粒组成。

**第 6.1.6 条** 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比，应按下式计算：

$$X = \frac{m_A}{m_B} \cdot d_x \quad (6.1.6)$$

式中  $X$ ——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比

(%)；

$m_A$ ——小于某粒径的试样质量 (g)；

$m_B$ ——筛析时的试样总质量 (g)；

$d_x$ ——粒径小于 2mm 的试样质量占试样总质量的百分比 (%)。

**第 6.1.7 条** 颗粒粒径分配曲线应在对数坐标纸上绘制，并应取小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比为纵坐标，取粒径的对数为横坐标。

**第 6.1.8 条** 筛析法颗粒分析试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试样最大粒径、筛的孔径、通过各筛的试样质量占试样总质量的百分比。

## 第二节 密 度 计 法

**第 6.2.1 条** 本试验方法适用于粒径小于 0.074mm 的土。

**第 6.2.2 条** 密度计法颗粒分析试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、土壤密度计：

1. 甲种土壤密度计：刻度为  $-5^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ，最小分度值为  $0.5^{\circ}$ 。

2. 乙种土壤密度计 ( $20^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$ )：刻度为  $0.995 \sim 1.020$ ，最小分度值为  $0.0002$ 。

二、量筒：容积为 1000ml，内径为 60mm，高度为  $350 \pm 10\text{mm}$ ，刻度为  $0 \sim 1000\text{ml}$ 。

三、洗筛漏斗：上口直径大于洗筛直径，下口直径略小于量筒直径。

四、天平：称量 1000g，感量 0.1g；称量 200g，感量 0.01g。

五、温度计：刻度为  $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，精度为  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

六、煮沸设备：附冷凝管装置。

七、搅拌器：底板直径为 50mm，孔径为 3mm。

八、锥形瓶：容积为 500ml。

第 6.2.3 条 土壤密度计的校正，应符合下列规定：

一、土壤密度计刻度校正与土粒沉降距离校正。

二、温度校正：土壤密度计是 20℃时刻制的，当悬液温度不等于 20℃时，应进行校正。校正值查表 6.2.3—1。

三、土粒比重校正土壤密度计刻度应以土粒比重 2.65 为准。当试样的土粒比重不等于 2.65 时，应进行土粒比重校正。校正值查表 6.2.3—2。

温度校正值 表 6.2.3—1

| 悬液温度<br>(℃) | 甲种土壤密度<br>计温度校正值<br>(T) | 乙种土壤密度<br>计温度校正值<br>(T) | 悬液温度<br>(℃) | 甲种土壤密度<br>计温度校正值<br>(T) | 乙种土壤密度<br>计温度校正值<br>(T) |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|
| 10.0        | —2.0                    | —0.0012                 | 20.0        | 0.0                     | +0.0000                 |
| 10.5        | —1.9                    | —0.0012                 | 20.5        | +0.1                    | +0.0001                 |
| 11.0        | —1.9                    | —0.0012                 | 21.0        | +0.3                    | +0.0002                 |
| 11.5        | —1.8                    | —0.0011                 | 21.5        | +0.5                    | +0.0003                 |
| 12.0        | —1.8                    | —0.0011                 | 22.0        | +0.6                    | +0.0004                 |
| 12.5        | —1.7                    | —0.0010                 | 22.5        | +0.8                    | +0.0005                 |
| 13.0        | —1.6                    | —0.0010                 | 23.0        | +0.9                    | +0.0006                 |
| 13.5        | —1.5                    | —0.0009                 | 23.5        | +1.1                    | +0.0007                 |
| 14.0        | —1.4                    | —0.0009                 | 24.0        | +1.3                    | +0.0008                 |
| 14.5        | —1.3                    | —0.0008                 | 24.5        | +1.5                    | +0.0009                 |
| 15.0        | —1.2                    | —0.0008                 | 25.0        | +1.7                    | +0.0010                 |
| 15.5        | —1.1                    | —0.0007                 | 25.5        | +1.9                    | +0.0011                 |
| 16.0        | —1.0                    | —0.0006                 | 26.0        | +2.1                    | +0.0013                 |
| 16.5        | —0.9                    | —0.0006                 | 26.5        | +2.2                    | +0.0014                 |
| 17.0        | —0.8                    | —0.0005                 | 27.0        | +2.5                    | +0.0015                 |
| 17.5        | —0.7                    | —0.0004                 | 27.5        | +2.6                    | +0.0016                 |
| 18.0        | —0.5                    | —0.0003                 | 28.0        | +2.9                    | +0.0018                 |
| 18.5        | —0.4                    | —0.0003                 | 28.5        | +3.1                    | +0.0019                 |
| 19.0        | —0.3                    | —0.0002                 | 29.0        | +3.3                    | +0.0021                 |
| 19.5        | —0.1                    | —0.0001                 | 29.5        | +3.5                    | +0.0022                 |
| 20.0        | —0.0                    | —0.0000                 | 30.0        | +3.7                    | +0.0023                 |

土粒比重校正值 表 6.2.3-2

| 土 粒 比 重 | 比 重 校 正 值                |                          |
|---------|--------------------------|--------------------------|
|         | 甲种土壤密度计(C <sub>G</sub> ) | 乙种土壤密度计(C <sub>L</sub> ) |
| 2.50    | 1.038                    | 1.666                    |
| 2.52    | 1.032                    | 1.658                    |
| 2.54    | 1.027                    | 1.649                    |
| 2.56    | 1.022                    | 1.641                    |
| 2.58    | 1.017                    | 1.632                    |
| 2.60    | 1.012                    | 1.625                    |
| 2.62    | 1.007                    | 1.617                    |
| 2.64    | 1.002                    | 1.609                    |
| 2.66    | 0.998                    | 1.603                    |
| 2.68    | 0.993                    | 1.595                    |
| 2.70    | 0.989                    | 1.588                    |
| 2.72    | 0.985                    | 1.581                    |
| 2.74    | 0.981                    | 1.575                    |
| 2.76    | 0.977                    | 1.568                    |
| 2.78    | 0.973                    | 1.562                    |
| 2.80    | 0.969                    | 1.556                    |
| 2.82    | 0.965                    | 1.549                    |
| 2.84    | 0.961                    | 1.543                    |
| 2.86    | 0.958                    | 1.538                    |
| 2.88    | 0.954                    | 1.532                    |

第 6.2.4 条 密度计法颗粒分析试验，应按下列步骤进行：

一、密度计法颗粒分析试验的试样，宜采用风干试样。当试样中易溶盐含量大于 0.5%，应洗盐。

二、取代表性试样 200—300g，风干并测定试样的风干含水

量。

三、称风干试样30g倒入锥形瓶,注入纯水200ml,浸泡过夜。

四、将浸泡过夜的悬液过 0.074mm 筛,把留在筛上的试样用水冲洗入蒸发皿内,倒去清水,烘干,称烘干试样质量。并按本标准第 6.1.4 条之三款进行筛析。过筛的悬液倒回锥形瓶,在煮沸设备上煮沸,煮沸的时间宜为 40min。

五、悬液冷却后倒入量筒,将纯水注入量筒,加入 4%浓度的六偏磷酸钠 10ml,再注入纯水至 1000ml。

注:对加入六偏磷酸钠后产生凝聚的土,应选用其它分散剂。

六、用搅拌器沿悬液深度上下搅拌 1min。取出搅拌器,立即开动秒表,将密度计放入悬液中,测记 1, 2, 5, 15, 30, 60, 240 和 1440min 时密度计读数。

七、密度计读数均以弯液面上缘为准。甲种密度计应精确至 0.5°,乙种密度计应精确至 0.0002。每次读数后,应取出密度计放入盛有纯水的量筒中,并应测定相应的悬液温度,精确至 0.5℃。

**第 6.2.5 条** 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比,应按下列公式计算:

一、甲种密度计:

$$X = \frac{100}{m_d} C_G (R_m + T) \quad (6.2.5-1)$$

式中  $C_G$ ——比重校正系数,查表 6.2.3~2;

$R_m$ ——密度计读数;

$T$ ——温度校正值,查表 6.2.3~1。

二、乙种密度计:

$$X = \frac{100 \cdot V_x}{m_s} \cdot C_G' [(R_m' - 1) + T'] \cdot \rho_{w20} \quad (6.2.5-2)$$

式中  $V_x$ ——悬液体积 (1000ml);  
 $C_g'$ ——比重校正系数, 见表 6.2.3~2;  
 $R'_m$ ——密度计读数;  
 $T'$ ——温度校正系数, 见表 6.2.3~1;  
 $\rho_{w20}$ ——温度 20℃时水的密度 (g/cm<sup>3</sup>), 查有关物理手册。

**第 6.2.6 条** 土颗粒的粒径, 应按下列公式计算, 亦可按图 6.2.6 确定。

$$d = \sqrt{\frac{1800\eta}{(G_s - G_{wt}) \rho_{w4}g} \cdot \frac{L}{t}} \quad (6.2.6)$$

式中  $d$ ——试样颗粒粒径 (mm);  
 $\eta$ ——纯水的动力粘滞系数 (10<sup>-6</sup>kPa·s);  
 $\rho_{w4}$ ——温度 4℃时水的密度 (g/cm<sup>3</sup>);  
 $L$ ——某一时间内的土粒沉降距离 (cm);  
 $t$ ——沉降时间 (s);  
 $g$ ——重力加速度 (cm/s<sup>2</sup>)。

**第 6.2.7 条** 颗粒粒径的分配曲线, 应按本标准第 6.1.7 条绘制。当密度计法与筛析法联合分析时, 应将两段曲线联接处绘成光滑曲线。

**第 6.2.8 条** 密度计法颗粒分析试验的记录, 应包括工程编号、试样编号、土壤密度计型号和编号, 试样含水量, 风干试样质量, 土粒比重, 分散剂名称和用量, 悬液温度, 计算粒径及小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比。

### 第三节 移液管法

**第 6.3.1 条** 本试验方法适用于粒径小于 0.074mm 的土。

**第 6.3.2 条** 移液管法颗粒分析试验所用的主要仪器设备, 应符合下列要求:

一、移液管 (图 6.3.2): 容积 25ml。

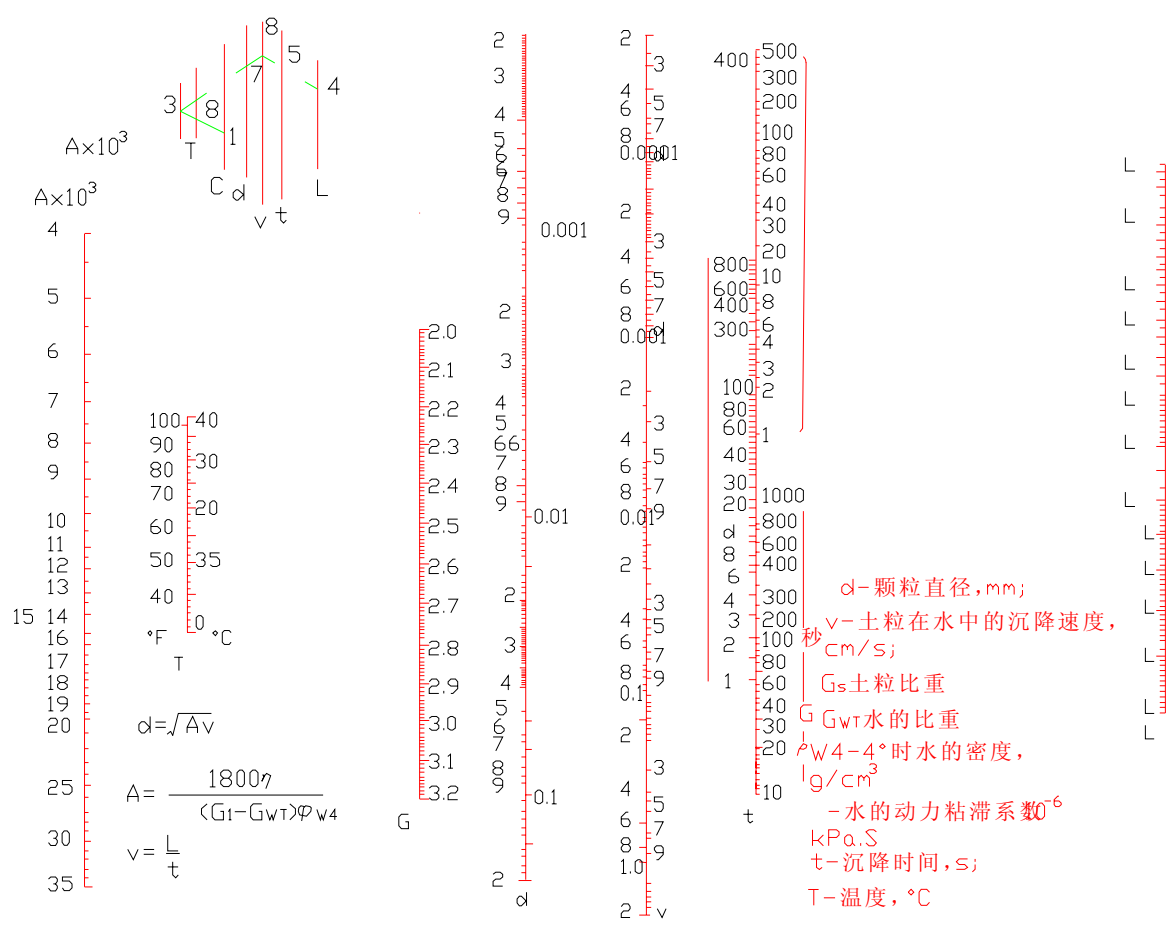


图 6.2.6 司笃克公式列线图

二、天平：称量 200g，感量 0.001g。

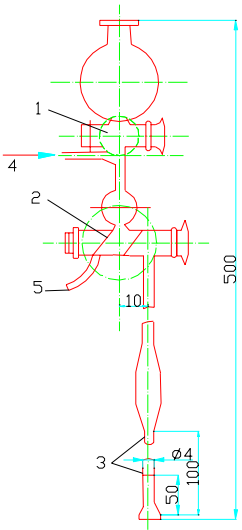


图 6.3.2 移液管示意图

1—二通阀，2—三通阀，3—移液管，4—接吸球，5—放流口。

三、小烧杯：容积 50ml。

**第 6.3.3 条** 移液管法颗粒分析试验，应按下列步骤进行：

一、取代表性试样，粘性土为 10—15g；砂性土为 20g，精确至 0.001g，并按本标准第 6.2.4 条一至五款制取悬液。

二、将装悬液的量筒放于湿水槽中，测记悬液温度，精确至 0.5℃。试验中悬液温度变化值不得大于±0.5℃。并按本标准公式 (6.2.6) 计算粒径小于 0.05, 0.01, 0.005, 0.002mm 和其他所需粒径下沉一定深度所需的静置时间。

三、用搅拌器沿悬液温度上下搅拌 1min，取出搅拌器，开动秒表，将移液管的二通阀门置于关闭位置，三通阀门置于移液管和吸球相通的位置，并放入悬液中，浸入深度为 10cm。根据各种粒径所需的静置时间，用吸球吸取悬液。吸取悬液数量应不小于

25ml。

四、旋转三通阀门，使移液管与放流口相通，将多余的悬液从放流口流出，搜集后倒入原悬液中。

五、将移液管下口放于小烧杯内，由上口倒入少量纯水，开三通阀门使水通过移液管，连同移液管内试样流入小烧杯。

六、将烧杯内的悬液蒸发，在 105°~110℃温度下烘干，称烧杯内试样质量，精确至 0.001g。

**第 6.3.4 条** 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比，应按下式计算：

$$X = \frac{m_x \cdot V_x}{V'_x \cdot m_d} \cdot 100 \quad (6.3.4)$$

式中  $V'_x$ ——吸球吸取的悬液体积，25ml；

$m_x$ ——从悬液内吸取的试样质量 (g)。

**第 6.3.5 条** 颗粒粒径的分配曲线应按第 6.1.7 条绘制。

**第 6.3.6 条** 移液管法颗粒分析试验的记录，应包括工程编号、试样编号、风干试样质量、吸取的悬液体积、悬液温度、分散剂名称和用量，小于某粒径试样颗粒下沉一定深度的静置时间，小烧杯内烘干试样质量，小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比。

## 第七章 界限含水量试验

### 第一节 液、塑限联合测定法

**第 7.1.1 条** 本试验方法适用于粒径小于 0.5mm，以及有机质含量不大于试样总质量 5% 的土。

**第 7.1.2 条** 液、塑限联合测定法界限含水量试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、液、塑限联合测定仪：锥质量为 76g，锥角为 30°，读数显示形式宜采用光电式，游标式，百分表式。

二、天平：称量 200g，感量 0.01g。

**第 7.1.3 条** 液、塑限联合测定法界限含水量试验，应按下列步骤进行：

一、液、塑限联合测定法宜采用天然含水量试样和风干试样，当试样中含有粒径大于 0.5mm 的土粒和杂物时，应过 0.5mm 的筛。

二、取 0.5mm 筛下的代表性试样 200g，分成三份，放入盛土皿中，加不同数量的纯水，制成不同稠度的试样。试样的含水量宜分别接近液限、塑限和二者的中间状态。将试样调匀，盖上湿布，湿润过夜。

三、将制备的试样搅拌均匀，填入试样杯中，对较干的试样应充分搓揉，密实地填入试样杯中，填满后刮平表面。

四、将试样杯放在联合测定仪的升降座上，在圆锥上抹一薄层凡士林，接通电源，使电磁铁吸住圆锥。

五、调节零点，调整升降座，使圆锥尖接触试样面，指示灯亮时圆锥在自重下沉入试样，经 5s 后测读圆锥下沉深度，取出试样杯，取部分试样测定含水量。

六、以相同步骤分别测定三个试样的圆锥下沉深度和含水量。

**第 7.1.4 条** 含水量应按式计算，计算至 0.1%。

$$\omega_1 = \left( \frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (7.1.4)$$

**第 7.1.5 条** 以含水量为横坐标，圆锥下沉深度为纵坐标，在双对数坐标纸上绘制关系曲线，三点应在一直线上。当三点不在一直线上时，通过高含水量的点与其余两点连成两条直线，在下沉深度为 2mm 处查得相应的二个含水量，当两个含水量的差值小于 2% 时，应以该两点含水量的平均值与高含水量的点连一直线。当两个含水量的差值大于、等于 2% 时，应重做试验。

**第 7.1.6 条** 在含水量与圆锥下沉深度的关系图上，查得下沉深度为 17mm 所对应的含水量为 17mm 液限，查得下沉深度为 10mm，所对应的含水量为 10mm 液限，查得下沉深度为 2mm 所对应的含水量为塑限，取直至整数。

**第 7.1.7 条** 塑性指数应按式计算：

$$I_p = \omega_L - \omega_P \quad (7.1.7)$$

式中  $I_p$ ——塑性指数；

$\omega_L$ ——液限含水量 (%)；

$\omega_P$ ——塑限含水量 (%)。

**第 7.1.8 条** 液、塑限联合测定法界限含水量试验的记录，应包括工程编号、试样编号、盛土器编号、试样含水量和相应的锥体下沉深度，查得的液限、塑限和计算的塑性指数。

## 第二节 碟式仪法

**第 7.2.1 条** 本试验方法适用粒径小于 0.5mm 的土。

**第 7.2.2 条** 碟式仪法液限试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、碟式液限仪：由铜碟、支架及底座组成(图 7.2.2—1)，底

座应为硬橡胶制成。

二、开槽器：带量规，具有一定形状和尺寸（图 7.2.2—2）。

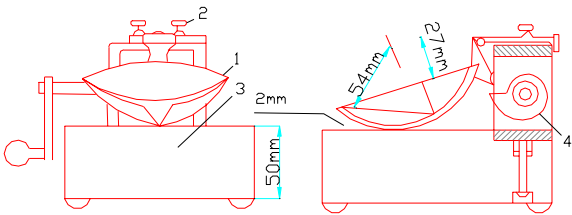


图 7.2.2—1 碟式液限仪

1—铜碟 2—支架 3—底座 4—蜗形轴

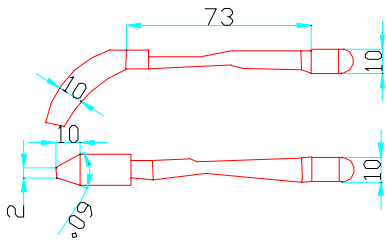


图 7.2.2—2 开槽器

**第 7.2.3 条** 碟式液限仪的校正，应按下列步骤进行：

一、用开槽器上的量规和支架上的调整板调整铜碟底与底座之间的间距为 10mm。

二、将调整板的螺母拧紧，固定调整板。

**第 7.2.4 条** 试样制备按本标准第 7.1.3 条一、二款进行。

**第 7.2.5 条** 碟式仪法液限试验，应按下列步骤进行：

一、将制备好的试样铺于铜碟前半部，用调土刀平碟子前沿将试样刮成水平，试样厚度为 10mm，用开槽器经蜗形轴的中心沿铜碟直径将试样划开，形成 V 形槽。

二、以每秒两转的速度转动摇柄，使铜碟反复起落，坠击于底座上，数记击数，直至槽底两边试样的合拢长度为 13mm，记录

击数，并在槽的两边取试样测定含水量。

三、将加不同水量的试样，重复进行试验，试样宜为 4~5 个。槽底试样合拢所需要的击数宜在 15 至 35 击之间。

**第 7.2.6 条** 各种击次下合拢试样的含水量，应按下式计算，精确至 0.001。

$$\omega_N = \left( \frac{m_N}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (7.2.6)$$

式中  $\omega_N$ ——N 击下试样的含水量 (%)；

$m_N$ ——N 击下试样的质量 (g)。

**第 7.2.7 条** 击次与含水量关系曲线应在半对数坐标纸上绘制。应取曲线上击次为 25 时对应的整数含水量为试样的液限。

**第 7.2.8 条** 碟式仪法液限试验的记录，应包括工程编号、试样编号、含水量和相应的击次。

### 第三节 滚 搓 法

**第 7.3.1 条** 本试验方法适用于粒径小于 0.5mm 的土。

**第 7.3.2 条** 滚搓法塑限试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、毛玻璃板：尺寸宜为 200×300mm。

二、卡尺：分度值为 0.02mm。

**第 7.3.3 条** 滚搓法塑限试验，应按下列步骤进行：

一、取 0.5mm 筛下的代表性试样 100g，放在盛土皿中加纯水拌匀，湿润过夜。

二、将制备好的试样在手中揉捏至不粘手，捏扁，当出现裂缝时，表示含水量接近塑限。

二、取接近塑限含水量的试样 8~10g，用手搓成椭圆形，放在毛玻璃板上用手掌滚搓，手掌的压力要均匀地施加在土条上，不得使土条在毛玻璃上无力滚动，土条不得有空心现象，土条长度不宜大于手掌宽度。

四、当土条搓成 3mm 时产生裂缝,并开始断裂,表示试样的含水量达到塑限含水量。当土条搓成 3mm 时不产生裂缝或土条直径大于 3mm 时开始断裂,都应重新取样进行试验。

五、取直径 3mm 有裂缝的土条 3~5g,测定土条的含水量。

**第 7.3.4 条** 滚搓法塑限试验应进行两次平行测定,两次测值的差值,当  $\omega_L$  小于 40% 时,不得大于 1%, $\omega_L$  大于或等于 40% 时,不得大于 2%。

**第 7.3.5 条** 滚搓法塑限试验的记录应包括工程编号、土样编号、盛土皿编号和含水量。

#### 第四节 土的缩限试验

**第 7.4.1 条** 本试验方法适用于粒径小于 0.5mm 的土。

**第 7.4.2 条** 土的缩限试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

一、收缩皿:金属制成,直径为 45~50mm,高为 20~30mm。

二、卡尺:分度值为 0.02mm。

**第 7.4.3 条** 土的缩限试验,应按下列步骤进行:

一、取代表性土样制备成含水量等于、大于液限的试样。

二、在收缩皿内涂一薄层凡士林,将试样分层填入收缩皿中,每次填入后收缩皿底拍击试验桌,直至驱尽气泡。收缩皿内填满试样后刮平表面。

三、擦净收缩皿外部,称收缩皿和试样的总质量。

四、将填满试样的收缩皿放在通风处晾干后,放入烘箱内烘干,在干燥皿中冷却,称收缩皿和干试样的总质量,精确至 0.1g。

五、用蜡封法测定干试样的体积。

**第 7.4.4 条** 土的缩限,应按下列式计算,精确至 0.001。

$$\omega_s = \omega_o - \frac{V_o - V_d}{m_d} \cdot \rho_w \times 100 \quad (7.4.4)$$

式中  $\omega_s$ ——缩限 (%);

$V_o$ ——湿试样的体积 ( $\text{cm}^3$ );

$V_d$ ——试样烘干后的体积 ( $\text{cm}^3$ )。

**第 7.4.5 条** 土的缩限试验的记录,应包括工程编号、试样编号、收缩皿编号、尺寸,试样烘干后的体积和缩限的计算。

## 第八章 砂的相对密实度试验

### 第一节 砂的最小干密度试验

**第 8.1.1 条** 本试验方法适用于粒径不大于 5mm 的土，且粒径 2~5mm 的试样质量不大于试样总质量的 15%。

**第 8.1.2 条** 砂的最小干密度试验，宜采用漏斗法和量筒法。

**第 8.1.3 条** 漏斗法最小干密度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、量筒：容积 250ml 和 500ml。

二、长颈漏斗：颈管的内径为 1.2cm，颈口应磨平。

三、锥形塞：直径为 1.5cm 的圆锥体，焊接在铁杆上（图 8.1.3）。

四、砂面拂平器：十字形金属平面焊接在铜杆下端。

**第 8.1.4 条** 漏斗法最小干密度试验，应按下列步骤进行：

一、取烘干的代表性试样拌匀，疏松地注入漏斗，试样应均匀缓慢地通过长颈漏斗漏入量

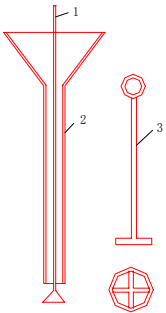


图 8.1.3

1—锥形塞；2—长颈漏斗；  
3—砂面拂平器

筒，边注边调节管口高度，试样的自由落高宜为 25mm，长颈漏斗在试样上部作螺旋形移动，使试样形成均匀的土层，不应产生分层现象，试样应装至高出量筒顶面 20mm，用砂面拂平器将试样拂平与量筒顶面齐平。

二、称量筒与试样的总质量，计算出试样质量。

**第 8.1.5 条** 量筒法最小干密度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、量筒：容积为 250ml 和 500ml。

二、橡皮板：直径应大于量筒直径。

**第 8.1.6 条** 量筒法最小干密度试验，应按下列步骤进行：

一、取代表性试样 200~300 装入量筒，用橡皮板堵住量筒口，将量筒倒置，缓慢地转动量筒内的试样，并回到原来位置，重复数次，记下试样在量筒内所占容积的最大值。

**第 8.1.7 条** 试样的最小干密度，应按下列式计算：

$$\rho_{dmin} = \frac{m_d}{V_d} \quad (8.1.7)$$

式中  $\rho_{dmin}$ ——试样的最小干密度 (g/cm<sup>3</sup>)。

**第 8.1.8 条** 试样的最大孔隙比，应按下列式计算：

$$e_{max} = \frac{\rho_w \cdot G_s}{\rho_{dmin}} - 1 \quad (8.1.8)$$

式中  $e_{max}$ ——试样的最大孔隙比。

**第 8.1.9 条** 砂的最小干密度试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试验方法、土粒比重和试样最大孔隙比。

## 第二节 砂的最大干密度试验

**第 8.2.1 条** 本试验方法适用于粒径不大于 5mm 的土。

**第 8.2.2 条** 砂的最大干密度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、金属圆筒：容积 250ml 和 1000ml，内径为 5cm 和 10cm，高为 12.7cm，附护筒。

二、振动叉（图 8.2.2）：两端击球应等量。

二、击锤：锤质量 1.25kg，落高 15cm，锤直径 5cm。

第 8.2.3 条 砂的最大干密度试验，应按下列步骤进行：

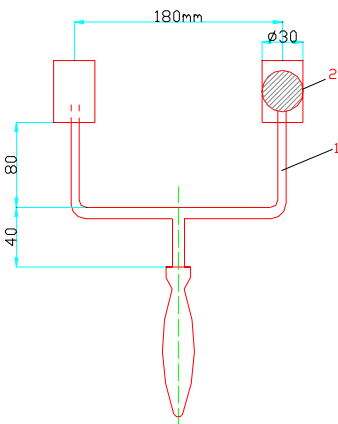


图 8.2.2 振动叉  
1—音叉 2—击球

一、取代表性试样 2000g，拌匀，分三次倒入金属圆筒进行振击。每层试样宜为圆筒容积的 1/3，试样倒入圆筒后用振动叉以每分钟往返 150～200 次的速度敲打圆筒两侧，并用锤击试样，直至试样体积不变。

二、刮平试样，称圆筒和试样的总质量，计算出试样质量。

第 8.2.4 条 试样的

最大干密度，应按下式计算：

$$\rho_{dmax} = \frac{m_d}{V_d} \quad (8.2.4)$$

式中  $\rho_{dmax}$ ——试样的最大干密度 (g/cm<sup>3</sup>)。

第 8.2.5 条 试样的最小孔隙比，应按下式计算：

$$e_{min} = \frac{\rho_w \cdot G_s}{\rho_{dmax}} - 1 \quad (8.2.5)$$

式中  $e_{min}$ ——试样的最小孔隙比。

第 8.2.6 条 砂的相对密实度，应按下式计算：

$$D_r = \frac{e_{max} - e_o}{e_{max} - e_{min}} \quad (8.2.6)$$

式中  $D_r$ ——砂的相对密实度；  
 $e_o$ ——砂的天然孔隙比。

**第 8.2.7 条** 砂的最大干密度试验的记录,应包括工程编号、试样编号、圆筒尺寸、土粒比重、砂的天然孔隙比和砂的相对密实度。

## 第九章 击实试验

**第 9.0.1 条** 本试验分为轻型击实和重型击实。轻型击实试验适用于粒径小于 5mm 的粘性土。重型击实试验适用于粒径不大于 40mm 的土。

**第 9.0.2 条** 轻型击实试验的单位体积击实功应为 591.6kJ/m<sup>3</sup>，重型击实试验的单位体积击实功应为 2682.7kJ/m<sup>3</sup>。

**第 9.0.3 条** 击实试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、击实仪：由击实筒和击锤组成（图 9.0.3）。

1. 击实筒：金属制成的圆柱形筒。轻型击实筒内径为 102mm，筒高为 116mm；重型击实筒内径为 152mm，筒高为 116mm。配有护筒和底板，护筒高度不小于 50mm。

2. 击锤：锤底直径为 51mm，轻型击锤质量为 2.5kg，落距为 305mm；重型击锤质量为 4.5kg，落距为 457mm。击锤应配导筒，锤与导筒之间应有足够的间隙，使锤能自由落下。击锤分人工操作和机械操作。电动击锤应配跟踪装置控制落距，锤击点应按一定角度均匀分布。

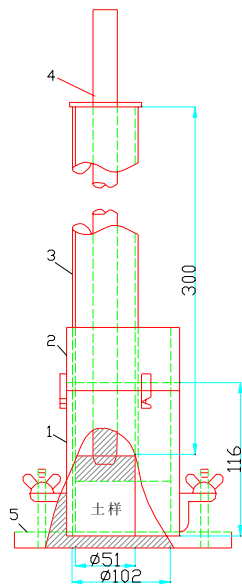


图 9.0.3 击实仪

1—击实筒；2—护筒；3—导筒；4—击锤；5—底板

二、推土器：螺旋式的千斤顶。

三、天平：称量 200g，感量 0.01g。

四、台秤：称量 5kg，感量 5g。

**第 9.0.4 条** 击实试验的试样制分为干法和湿法。并应符合下列规定：

一、干法，应按下列步骤进行：取代表性土样 20kg，风干碾碎，过 5mm 的筛，将筛下土样拌匀，并测定土样的风干含水量。根据土的塑限预估最优含水量，选择五个含水量并按本标准第 2.0.7 条之四款制备一组试样。相邻二个含水量的差值宜为 2%。

注：五个含水量中二个大于塑限含水量，二个小于塑限含水量，一个接近塑限含水量。

二、湿法，应按下列步骤进行：将天然含水量的土样碾碎，过 5mm 的筛，将筛下土样拌匀，并测定土样的天然含水量。根据土的塑限预估最优含水量，选择五个含水量，视其大于或小于天然含水量，分别将土样风干或加水制备一组试样，制备的试样水份应均匀分布。

**第 9.0.5 条** 击实试验应按下列步骤进行：

一、将击实筒固定在刚性底板上，装好护筒，在击实筒内壁涂一薄层润滑油，称试样 2—5kg，倒入击实筒内。轻型击实分三层击实，每层 25 击；重型击实分五层击实，每层 56 击。每层试样高度宜相等，二层交界处的土面应刨毛。击实后，超出击实筒顶的试样高度应小于 6mm。

二、拆去护筒，用刀修平击实筒顶部的试样，拆除底板，试样底部若超出筒外，也应修平，擦净筒外壁，称筒和试样的总质量，精确至 1g，并计算试样的湿密度。

三、用推土器将试样从筒中推出，取两块代表性试样测定含水量，两个含水量的差值不大于 1%。

四、对不同含水量的试样依次进行击实试验。

**第 9.0.6 条** 试样的干密度，应按下式计算：

$$\rho_d = \frac{\rho_0}{1 + \omega_1}$$

(9.0.6)

第 9.0.7 条 干密度和含水量的关系曲线，应在直角坐标纸上绘制（图 9.0.7）。并应取曲线峰值点相应的纵坐标为击实试样的最大干密度，相应的横坐标为击实试样的最优含水量。当关系曲线不能绘出峰值点时，应进行补点，土样不宜重复使用。

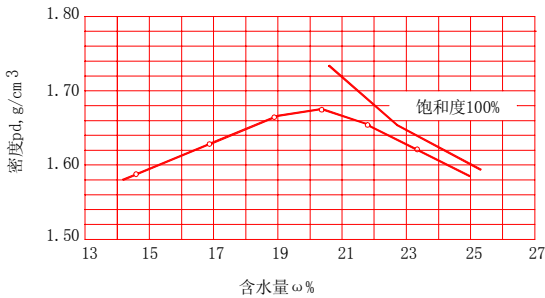


图 9.0.7 ρ<sub>d</sub>~ω 关系曲线

第 9.0.8 条 当试样中粒径大于 5mm 的土质量小于或等于试样总质量的 30%时，应对最优含水量和最大干密度进行校正。

一、最大干密度，应按下式进行校正：

$$\rho'_{dmax} = \frac{1}{\frac{1 - P_5}{\rho_{dmax}} + \frac{P_5}{\rho_w \cdot G_{s2}}}$$

(9.0.8-1)

式中 ρ'<sub>dmax</sub>——校正后试样的最大干密度 (g/cm<sup>3</sup>)；  
P<sub>5</sub>——粒径大于 5mm 土的质量百分数 (%)；  
G<sub>s2</sub>——粒径大于 5mm 土粒的饱和面干比重。

二、最优含水量，应按下式进行校正，计算至 0.1%。

$$\omega'_{opt} = \omega_{opt} (1 - P_5) + P_{5\omega ab} \quad (9.0.8-2)$$

式中  $\omega'_{opt}$ ——校正后试样的最优含水量 (%)；  
 $\omega_{opt}$ ——击实试样的最优含水量 (%)；  
 $\omega_{ab}$ ——粒径大于 5mm 土粒的吸着含水量 (%)。

第 9.0.9 条 试样的饱和含水量，应按下式计算，计算至 0.1%。

$$\omega_{set} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 \quad (9.0.9)$$

式中  $\omega_{set}$ ——饱和含水量 (%)。

第 9.0.10 条 饱和含水量和相应的干密度，应按本标准图 9.0.7 绘制饱和曲线。

第 9.0.11 条 击实试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试样含水量、土粒比重、粒径大于 5mm 的土粒饱和面干比重、粒径大于 5mm 土粒的吸着含水量和试样的干密度。

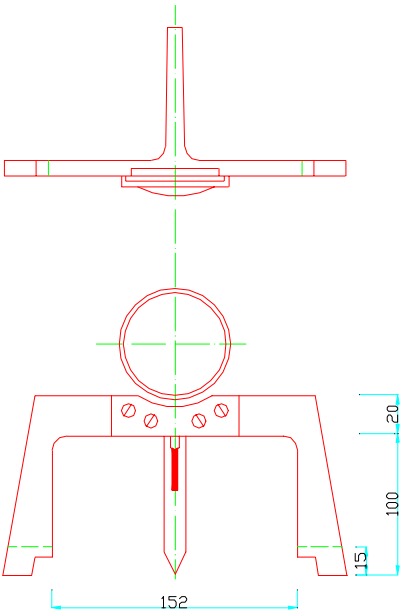
注：饱和面干比重：当土粒呈饱和面干状态时的土粒总质量与相当于土粒总体积的蒸馏水 4℃时质量的比值。

第十章 承载比试验

第 10.0.1 条 本试验方法适用于粒径小于 40mm 的土。

第 10.0.2 条 承载比试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

- 一、试样筒: 金属圆筒, 内径为 150mm, 高为 166mm, 有护筒和底板, 护筒高度不大于 50mm。筒内放置垫块, 直径为 151mm, 高为 50mm。
- 二、击锤: 锤底直径为 51mm, 锤质量为 4.5kg, 落距为



10.0.2—5 膨胀测定装置

457mm。

三、贯入杆：杆的端面直径为 50mm，长为 100mm。

四、加压设备：材料强度仪或测力计。量程不小于 50KN，最小贯入速度应能调节至 1mm/min。

### 五、膨胀量的量测设备 (图 10.0.2~5)。

六、多孔板 (图 10.0.0—6): 板上装有调节杆。

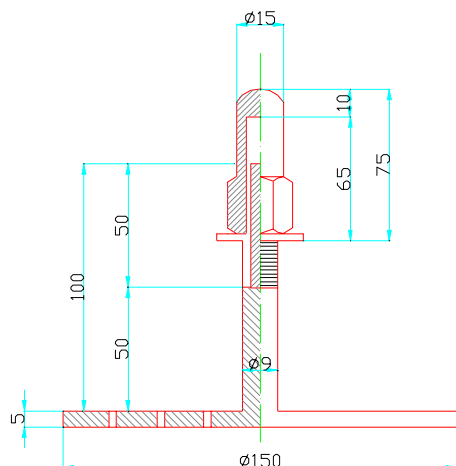


图 10.0.2—6 带调节杆的多孔板

七、荷载块：每块质量为 1kg，直径宜小于试样。

**第 10.0.3 条** 试样击实应按本标准第 9.0.5 条中的重型击实试验步骤进行。

**第 10.0.4 条** 承载比试验，应按下列步骤进行：

一、将多孔等放在试样上，放上荷载块，使试样所受的压力达到路面材料所要求的压力。将试样筒与多孔板一起放入水槽内，用拉杆拉紧，安装膨胀量的量测设备，调整百分表为零位，向槽内充水，使水进入试样，槽内水面宜高出试样顶面 20mm，浸泡四昼夜，量测浸水后试样的高度变化，并计算膨胀量。

二、从水槽中取出试样筒，静置 15min 后卸去荷载块及多孔

板，称试样和试样筒的总质量，并应计算试样含水量和密度的变化。

三、将泡水后的试样放在加压设备上，使贯入杆与试样顶面接触，施加 40N 的荷载，将测力计和变形量测设备的百分表读数调整至零。

四、加压，使贯入杆以 1~1.25mm/min 的速度压入试样，测定测力计内百分表在指定读数下的贯入量，使贯入量在 2mm 时测读数不少于 5 个。

**第 10.0.5 条** 单位压力与贯入量关系曲线应在直角坐标纸上绘制。当曲线的开始段呈凹线时，应按下列方法进行修正，通过曲率转折点引一切线与纵坐标相交，此交点为修正后的原点。

**第 10.0.6 条** 承载比应按下列公式计算：

一、贯入量为 2.5mm 时：

$$N_{CBR} = \frac{P}{7000} \times 1000$$

式中  $N_{CBR}$  —— 承载比 (%)；

$P$  —— 单位压力 (kpa)；

7000 —— 贯入量为 2.5mm 时的标准荷载强度 (kpa)。

二、贯入量为 5mm 时：

$$N_{CBR} = \frac{P}{10500} \times 1000 \quad (10.0.6-2)$$

式中 10500 —— 贯入量为 5mm 时的标准荷载强度 (kpa)。

**第 10.0.7 条** 当贯入量为 5mm 时的承载比大于贯入量为 2.5mm 时的承载比时，试验应重做。数次试验结果相同时，应采用 5mm 时的承载比。

**第 10.0.8 条** 承载比试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试样尺寸、试样筒的质量、试样浸水前后的质量、加压试验记录、贯入深度、贯入速度、试样浸水后的膨胀量和承载比。

# 第十一章 渗透试验

## 第一节 常水头渗透试验

第11.1.1条 本试验方法适用于砂性土。本试验采用的纯

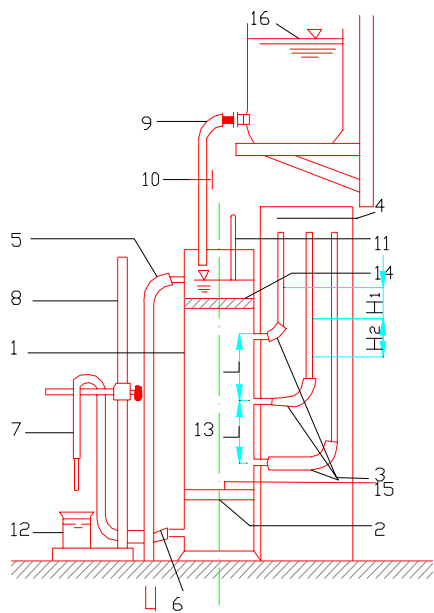


图 11.1.2 常水头渗透仪装置

- 1—金属圆筒 2—金属孔板 3—测压孔 4—测压管 5—溢水孔  
6—渗水孔 7—调节管 8—滑动支架 9—供水管 10—止水夹  
11—温度计 12—量杯 13—试样 14—砾石层 15—铜丝筛布滤网  
16—供水瓶

水，应在试验前用抽气法或煮沸法脱气。试验时的水温，宜高于室温 3~4℃。

**第 11.1.2 条** 常水头渗透试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

常水头渗透装置：由金属封底圆筒、金属孔板、滤网、测压管和供水瓶等组成（图 11.1.2）。金属圆筒内径为 10cm，高为 40cm。当使用其他尺寸的圆筒时，圆筒内径应大于试样最大粒径的 10 倍。

**第 11.1.3 条** 常水头渗透试验，应按下列步骤进行：

一、装好仪器，量测滤网至筒顶的高度，将调节器与供水管相连，从渗水孔向圆筒充水至高出滤网顶面。

二、取具有代表性的风干土样 3—4kg，测定其风干含水量。将风干土样分层装入圆筒内，根据预定的孔隙比控制试样厚度。当试样中含粘粒时，应在滤网上铺 2cm 厚的粗砂作为过滤层，防止细粒流失。每层试样装完后，从渗水孔向圆筒充水至试样顶面，最后一层试样应高出测压管 3~4cm，并在试样顶面铺 2cm 砾石作为缓冲层。当水面高出试样顶面时，应继续充水至溢水孔有水溢出。

三、称剩余土样的质量，并计算试样质量和试样高度。

四、检查测压管水位，当测压管水位与溢水孔水位不平时，用吸球调整测压管水位，直至两者水位齐平。

五、提高调节管至溢水孔以上，将供水管放入圆筒内，开止水夹，使水由顶部注入圆筒，降低调节管至试样上部 1/3 高度处，形成水位差使水渗入试样，经过调节管流出。调节供水管止水夹，使进入圆筒的水量多于渗出的水量，溢水孔始终有水溢出，保持圆筒内水位不变，试样处于常水头下渗透。

六、当测压管水位稳定后，测记水位。并计算各测压管之间的水位差。按规定时间记录渗水量，接取渗水量时，调节管口不得浸入水中，测量进水和出水处的水温，取平均值。

七、降低调节管至试样的不同高度处重复测定，当不同水力坡降下测定的数据接近时，结束试验。

八、根据工程要求，改变试样的孔隙比，继续试验。

**第 11.1.4 条** 渗透系数应按下列公式计算：

$$k_T = \frac{QL}{AHt} \quad (11.1.4)$$

式中  $k_T$ ——水温为  $T^\circ\text{C}$  时试样的渗透系数 ( $\text{cm/s}$ )；

$Q$ ——时间  $t$  秒内的渗出水量 ( $\text{cm}^3$ )；

$L$ ——两测压管中心间的距离 ( $\text{cm}$ )；

$A$ ——试样的断面积 ( $\text{cm}^2$ )；

$H$ ——平均水位差  $\left(\frac{H_1+H_2}{2}\right)$  ( $\text{cm}$ )；

$t$ ——时间 ( $\text{s}$ )。

**第 11.1.5 条** 标准温度下的渗透系数应按下列公式计算：

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (11.1.5)$$

式中  $k_{20}$ ——标准温度 ( $20^\circ\text{C}$ ) 时试样的渗透系数 ( $\text{cm/s}$ )；

$\eta_T$ —— $T^\circ\text{C}$  时水的动力粘滞系数 ( $\text{kPa} \cdot \text{s}$ )；

$\eta_{20}$ —— $20^\circ\text{C}$  时水的动力粘滞系数 ( $\text{kPa} \cdot \text{s}$ )。粘滞系数比

$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$  查表 11.1.5。

**第 11.1.6 条** 根据计算的渗透系数，应取 3~4 个在允许差值范围内的数据的平均值，用以作为试样在该孔隙比下的渗透系数（允许差值不大于  $2 \times 10^{-n}$ ）。

**第 11.1.7 条** 当进行不同孔隙比下的渗透试验时，应以孔隙比为纵坐标，渗透系数的对数为横坐标，绘制关系曲线。

**第 11.1.8 条** 常水头渗透试验的记录，应包括工程编号、试样编号、圆筒直径、孔隙比、水位差、水温、不同时间的进水量和渗水量。

水的动力粘滞系数  $\eta$ 、粘滞系数比  $\eta_T/\eta_{20}$ 、  
温度校正  $T_P$

表 11.1.5

| 温 度  | 动力粘滞系数                   |                    | 温度校正  | 温 度  | 动力粘滞系数                   |                    | 温度校正  |
|------|--------------------------|--------------------|-------|------|--------------------------|--------------------|-------|
| ℃    | $\eta(10^{-6})$<br>kPa·s | $\eta_T/\eta_{20}$ | $T_P$ | ℃    | $\eta(10^{-6})$<br>kPa·s | $\eta_T/\eta_{20}$ | $T_P$ |
| 5.0  | 1.516                    | 1.501              | 1.17  | 15.5 | 1.130                    | 1.119              | 1.58  |
| 5.5  | 1.493                    | 1.478              | 1.19  | 16.0 | 1.115                    | 1.104              | 1.60  |
| 6.0  | 1.470                    | 1.455              | 1.21  | 16.5 | 1.101                    | 1.090              | 1.62  |
| 6.5  | 1.449                    | 1.435              | 1.23  | 17.0 | 1.088                    | 1.077              | 1.64  |
| 7.0  | 1.428                    | 1.414              | 1.25  | 17.5 | 1.074                    | 1.066              | 1.66  |
| 7.5  | 1.407                    | 1.393              | 1.27  | 18.0 | 1.061                    | 1.050              | 1.68  |
| 8.0  | 1.387                    | 1.373              | 1.28  | 18.5 | 1.048                    | 1.038              | 1.70  |
| 8.5  | 1.367                    | 1.353              | 1.30  | 19.0 | 1.035                    | 1.025              | 1.72  |
| 9.0  | 1.347                    | 1.334              | 1.32  | 19.5 | 1.022                    | 1.012              | 1.74  |
| 9.5  | 1.328                    | 1.315              | 1.34  | 20.0 | 1.010                    | 1.000              | 1.76  |
| 10.0 | 1.310                    | 1.297              | 1.36  | 20.5 | 0.998                    | 0.988              | 1.78  |
| 10.5 | 1.292                    | 1.279              | 1.38  | 21.0 | 0.986                    | 0.976              | 1.80  |
| 11.0 | 1.274                    | 1.261              | 1.40  | 21.5 | 0.974                    | 0.964              | 1.83  |
| 11.5 | 1.256                    | 1.243              | 1.42  | 22.0 | 0.963                    | 0.953              | 1.85  |
| 12.0 | 1.239                    | 1.227              | 1.44  | 22.5 | 0.952                    | 0.943              | 1.87  |
| 12.5 | 1.223                    | 1.211              | 1.46  | 23.0 | 0.941                    | 0.932              | 1.89  |
| 13.0 | 1.206                    | 1.194              | 1.48  | 24.0 | 0.919                    | 0.910              | 1.94  |
| 13.5 | 1.188                    | 1.176              | 1.50  | 25.0 | 0.899                    | 0.890              | 1.98  |
| 14.0 | 1.175                    | 1.163              | 1.52  | 26.0 | 0.879                    | 0.870              | 2.03  |
| 14.5 | 1.160                    | 1.148              | 1.54  | 27.0 | 0.859                    | 0.850              | 2.07  |
| 15.0 | 1.144                    | 1.133              | 1.56  | 28.0 | 0.841                    | 0.833              | 2.12  |

第二节 变水头渗透试验

第 11.2.1 条 本试验方法适用于粘性土。本试验采用的纯水，应在试验前用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时的水温，宜高于室温 3—4℃。

第 11.2.2 条 变水头渗透试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

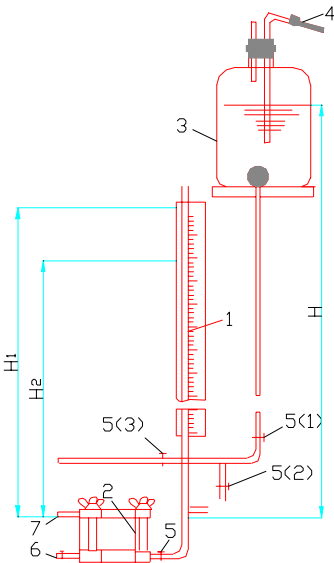


图 11.2.2 变水头渗透装置

1—变水头管 2—渗透容器 3—供水瓶 4—接水源管  
5—进水管夹 6—排气管 7—出水管

一、变水头渗透装置：由渗透容器、变水头管、供水瓶、进水管等组成（图 11.2.2）渗透容器由环刀、透水石、套环上盖和下盖组成。透水石的渗透系数，应大于试样的渗透系数。变水头管的内径，根据试样的渗透系数选择不同尺寸，长度宜为 1m 以

上。

**第 11.2.3 条** 试样制备应按本标准第 2.0.6 条进行,并应测定试样的含水量和密度。

**第 11.2.4 条** 变水头渗透试验,应按下列步骤进行:

一、将装有试样的环刀装入渗透容器,用螺母旋紧,要求密封至不漏水不漏气。并按本标准第 2.0.11 条进行抽气饱和。

二、将渗透容器的进水口与变水头管连接,利用供水瓶中的水向进水管充满水,并渗入渗透容器,开排气阀,排除渗透容器底部的空气,直至溢出水无气泡,关排气阀,放平渗透容器。

三、向变水头管注水,使水升至预定高度,待水位稳定后开进水管夹,使水通过试样,当出水口有水溢出时开始测记,记录起始水头和起始时间,按预定时间间隔测记水头和时间变化,并测记出水口的水温。

四、将变水头管中的水位变换高度,待水位稳定再进行测记水头和时间变化。重复试验 5~6 次。

**第 11.2.5 条** 渗透系数应按下式计算:

$$k_T = 2.3 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log \frac{H_1}{H_2} \quad (11.2.5)$$

式中  $a$ ——变水头管的断面积 ( $\text{cm}^2$ );

2.3——Ln 和 log 的换算系数。

**第 11.2.6 条** 标准温度下的渗透系数,应按下式计算:

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (11.2.6)$$

**第 11.2.7 条** 变水头渗透试验的记录,应包括工程编号、试样编号、容器编号、孔隙比、水位高度、水头管横断面积、水温和规定时间内的水头变化。

## 第十二章 固结试验

第 12.0.1 条 本试验方法适用于饱和的粘性土。当只进行压缩时，允许用于非饱和土。

第 12.0.2 条 固结试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、固结容器：由环刀、护环、透水石、水槽、加压上盖组成（图 12.0.2）。

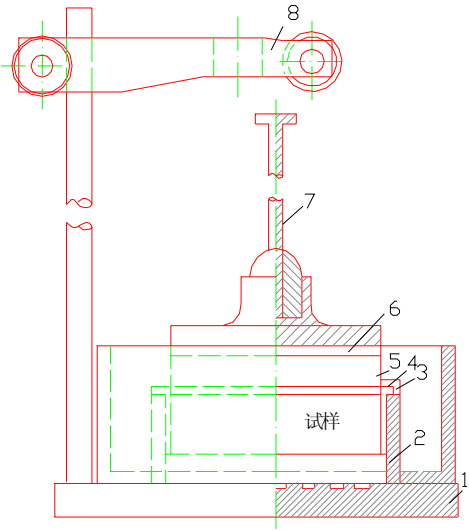


图 12.0.2 固结仪示意图

1—水槽；2—护环；3—坚固圈；4—环刀；5—透水石；  
6—加压上盖；7—量表导杆 8—量表架

环刀：直径为 61.8 和 79.8mm，高度为 20mm。环刀应具有一定的刚度，内壁应保持较高的光洁度，宜涂一薄层硅脂或聚四氟乙烯。

透水石：氧化铝或不受土腐蚀的金属材料组成。其渗透系数应大于试样的渗透系数。用固定式容器时，顶部透水石直径小于环刀内径 0.2—0.5mm；当用浮环式容器时，上下端透水石直径相等。

二、加荷设备应能垂直地在瞬间施加各级规定的荷重，且没有冲击力，压力精度应符合 GB4935—85。

三、变形量测设备 量程 10mm，最小分度为 0.01mm 的百分表或零级位移传感器。

**第 12.0.3 条** 固结仪及加荷设备应定期率定，并应作出仪器变形校正曲线。

**第 12.0.4 条** 试样制备应按本标准第 2.0.6 条、第 2.0.7 条和第 2.0.8 条进行，并测定试样的含水量和密度。取切下的余土测定土粒比重。试样需要饱和时，应按第 2.0.11 条进行抽气饱和。

**第 12.0.5 条** 固结试验应按下列步骤进行：

一、将带有试样的环刀装入固结容器内，套上护环，放上透水石和加压盖板，并将容器置于加压框架正中，安装百分表或位移传感器。

二、施加 1kPa 的预压力使试样与仪器上下各部件之间接触，将百分表或传感器调整到零位。

三、确定需要施加的各级压力，压力等级宜为 12.5、25、50、100、200、400、800、1600、3200kPa，最后一级压力应比土层的计算压力大 100~200kPa。

四、需要确定原状土的先期固结压力时，初始段的荷重率应小于 1，可采用 0.5 或 0.25。施加的压力应使测得的  $e \sim \log p$  曲线下段出现较长的直线段。对于超固结土，应进行卸荷，再加荷来评

价其再压缩特性。

五、第一级压力的值应视土的软硬程度而定，宜用 12.5、25、或 50kPa。对于饱和试样，施加第一级压力后应立即向水槽中注水浸没试样。

注：做非饱和试样试验时，须用湿棉纱围住加压板周围。

六、需要测定沉降速率时，则施加每一级压力后宜按下列时间顺序测记试样的高度变化。时间为 6''、15''、1'、2'15''、4'、6'15''、9'、12'15''、16'、20'15''、25'、30'15''、36'、49'、64'、100'、200'、400'、23h、24h，至稳定为止。当不需要测定沉降速度时，则施加每级压力后 24h，测记试样高度变化作为稳定标准，当试样的渗透系数大于  $10^{-5}\text{cm/s}$  时，允许以主固结完成作为相对稳定标准。按此步骤逐级加压至试验结束。

注：测定沉降速率仅适用饱和土。

七、需要进行回弹试验时，可在某级压力（大于上复压力）下固结稳定后退压，直至退到第一级压力，每次退压至 24h 后测定试样的回弹量。

八、试验结束后吸去容器中的水，迅速拆除仪器各部件，取出试样，测定含水量。

第 12.0.6 条 试样的初始孔隙比  $e_0$ ，应按下式计算：

$$e_0 = \frac{(1 + \omega_0) G_s \cdot \rho_w}{\rho_0} - 1 \quad (12.0.6)$$

式中  $e_0$ ——试样的初始孔隙比。

第 12.0.7 条 各级压力下试样固结稳定后的单位沉降量，应按下式计算：

$$S_i = \frac{\sum \Delta h_i}{h_0} \times 10^3 \quad (12.0.7)$$

式中  $S_i$ ——单位沉降量 (mm/m)；  
 $h_0$ ——试样初始高度 (mm)；

$\sum \Delta h_i$ ——某级压力下试样固结稳定后的总变形量（等于该级压力下固结稳定读数减去仪器变形量）（mm）；

$10^3$ ——单位换算系数。

第 12.0.8 条 各级压力下试样固结稳定后的孔隙比  $e_i$ ，应按下列式计算：

$$e_i = e_0 - \frac{1 + e_0}{h_0} \Delta h_i \quad (12.0.8)$$

式中  $e_i$ ——各级压力下试样固结稳定后的孔隙比。

第 12.0.9 条 某一压力范围内的压缩系数  $a$ ，应按下列式计算：

$$a_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i} \quad (12.0.9)$$

式中  $a_v$ ——压缩系数（ $\text{kPa}^{-1}$ ），

$P_i$ ——某级压力值（ $\text{kPa}$ ）。

第 12.0.10 条 某一压力范围内的压缩模量，应按下列式计算：

$$E_s = \frac{P_{i+1} - P_i}{S_{i+1} - S_i} \times 10^3 \quad (12.0.10)$$

式中  $E_s$ ——某压力范围内的压缩模量（ $\text{kPa}$ ）。

第 12.0.11 条 某一压力范围内的体积压缩系数，应按下列式计算：

$$m_v = \frac{1}{E_s} \quad (12.0.11)$$

式中  $m_v$ ——某压力范围内的体积压缩系数（ $\text{kPa}^{-1}$ ）。

第 12.0.12 条 压缩指数和回弹指数，应按下列式计算：

$$C_c (C_s) = \frac{e_i - e_{i+1}}{\log P_{i+1} - \log P_i} \quad (12.0.12)$$

式中  $C_c$ ——压缩指数；

$C_s$ ——回弹指数。

第 12.0.13 条 孔隙比与压力的关系曲线，应按本标准图 12.0.13 绘制。

第 12.0.14 条 孔隙比与压力的对数关系曲线，应按本标准图 12.0.14 绘制。

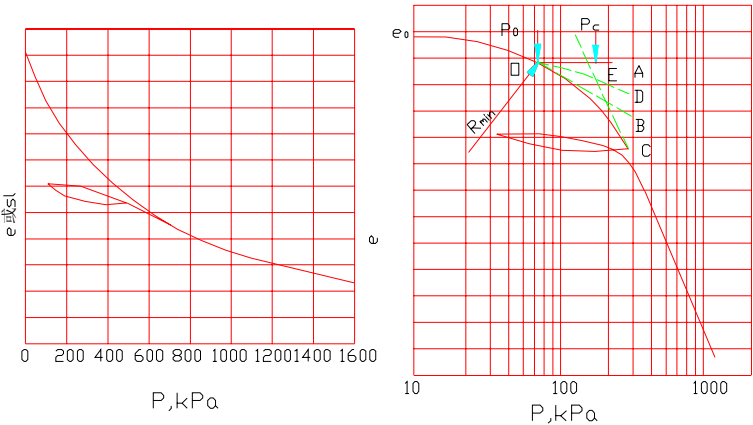


图 12.0.13  $e(S_r) \sim P$  关系曲线 图 12.0.14  $e \sim \log P$  曲线和求  $P_e$  示意图

第 12.0.15 条 原状土试样的先期固结压力，应按下列方法确定。在  $e \sim \log P$  曲线上找出最小曲率半径  $R_{min}$  的点  $O$ ，过  $O$  点作水平线  $OA$ 、切线  $OB$  及  $\angle AOB$  的平分线  $OD$ ， $OD$  与曲线下段直线部份的延长线交于  $E$  点，则对应于  $E$  点的压力值即为该原状土试样的先期固结压力（图 12.0.14）。

第 12.0.16 条 固结系数  $C$ ，应按下列方法确定：

一、时间平方根法：对某一级压力，以试样的变形为纵坐标，时间平方根为横坐标，绘制  $z \sim \sqrt{t}$  曲线（图 12.0.16—1），延长  $z \sim \sqrt{t}$  曲线开始段的直线，交纵坐标于  $Z_0$ （ $Z_0$  称理论零点），过  $Z_0$  作另一直线，令其横坐标为前一直线横坐标的 1.15 倍，则后一直线与  $z \sim \sqrt{t}$  曲线交点所对应的时间的平方即为试样固结度达 90% 所得的时间  $t_{90}$ ，固结系数应按下式计算：

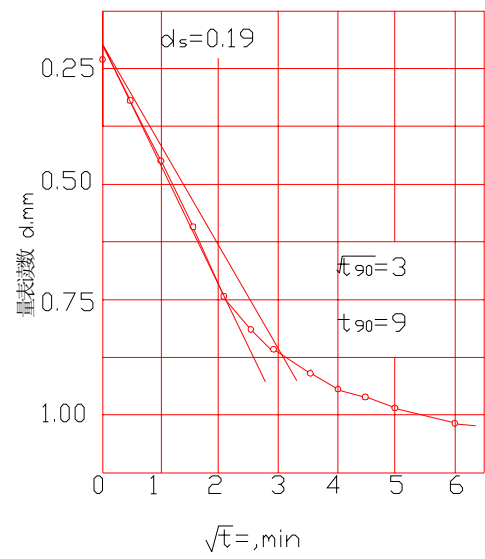


图 12.0.16—1 时间平方根法求  $t_{90}$

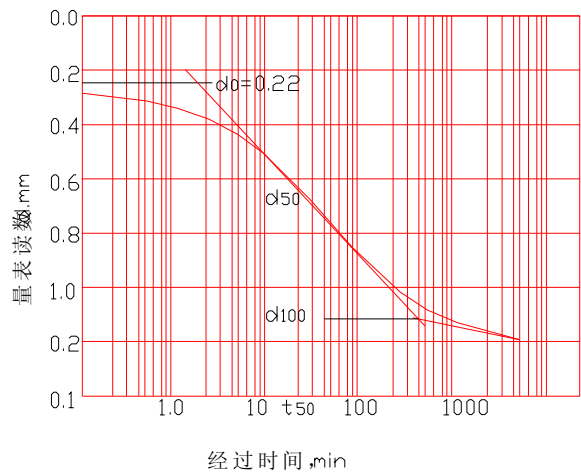


图 12.0.16—2 时间对数法求  $t_{50}$

$$C_v = \frac{0.848 \bar{h}^2}{t_{90}} \quad (12.0.16-1)$$

式中  $C_v$ ——固结系数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ );

$\bar{h}$ ——最大排水距离, 等于某级压力下试样初始和终了高度的平均值之半 ( $\text{cm}$ );

$t_{90}$ ——固结度达 90%所需的时间 ( $\text{s}$ )。

二、时间对数法: 对某一级压力, 以试样的变形  $z$  为纵坐标, 时间的对数为横坐标, 绘制  $z \sim \log t$  曲线, 如图 12.0.16-2。在  $z \sim \log t$  曲线的开始段, 选任一时间  $t_1$ , 相对应的变形值为  $z_1$ , 再取时间为  $t_2 = t_1/4$ , 相对应的变形值为  $z_2$ , 则  $2z_2 - z_1$  即为  $z_{01}$ , 另取一时间依同法求得  $z_{02}$ 、 $z_{03}$ 、 $z_{04}$  等, 取其平均值为理论零点  $z_s$ , 延长  $z - \log t$  曲线中部的直线段和曲线尾部数点切线的交点即为理论终点  $z_{100}$ , 则  $z_{50} = \frac{z_s + z_{100}}{2}$ , 对应于  $z_{50}$  的时间即为试样固结发达 50%所需的时间  $t_{50}$ , 某一级压力下的固结系数  $C$ , 应按下式计算:

$$C_v = \frac{0.197 \bar{h}^2}{t_{50}} \quad (12.0.16-2)$$

**第 12.0.17 条** 固结试验的记录, 应包括工程编号、试样编号、试样的含水量和密度、土粒比重、试样状态、试验方法各级压力下的变形量以及压缩性指标  $a_v$ 、 $E_s$ 、 $m_v$ 、 $C_v$  等。

## 第十三章 黄土湿陷试验

**第 13.0.1 条** 本试验方法适用于各种黄土类土。应采用单线法。

**第 13.0.2 条** 黄土湿陷试验所用的主要仪器设备,应与本标准第 12.0.2 条相同,其环刀面积应采用  $50\text{cm}^2$ 。

**第 13.0.3 条** 黄土湿陷试验,应按下列步骤进行:

一、用环刀切取原状试样数个。切土时,应使土样受压方向与天然土层方向一致。各试样间的密度差值不得大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ,并测定试样含水量。

注:当取多个试样有困难时,允许采用双线法。

二、将带有试样的环刀装入固结容器内,套上护环,放上透水石和加压盖板。透水石的湿度,应接近试样的天然湿度。

三、施加  $1\text{kPa}$  的预压力使试样与仪器上下各部件接触,并将百分表或传感器调整至零位。

四、测定湿陷系数时,试样在天然湿度下按如下的压力等级加压:在  $0\sim 200\text{kPa}$  之内,每级压力增量为  $25\sim 50\text{kPa}$ ;在  $200\text{kPa}$  以上,每级压力增量为  $100\text{kPa}$ 。变形稳定标准为每小时变形量不大于  $0.01\text{mm}$ 。并应根据工程需要及土的沉积条件确定浸水压力。浸水宜用纯水,浸水后变形稳定标准为每小时变形量不大于  $0.01\text{mm}$ 。

五、测定自重湿陷系数时,试样在天然湿度下,逐级加压至试样上复土的饱和自重压力,待变形稳定后浸水。变形稳定标准为每小时变形量不大于  $0.01\text{mm}$ 。

六、需测定溶滤变形时,将测定湿陷系数后的试样继续用水渗透,每隔  $2\text{h}$  测读变形一次,  $24\text{h}$  后每日测读  $1\sim 3$  次,变形稳定

标准为每三天不大于 0.01mm。

七、试验完毕，吸掉容器中的水，拆除仪器，取出试样，测定含水量。

**第 13.0.4 条** 湿陷系数应按下列式计算：

$$\delta_s = \frac{h_1 - h_2}{h_0} \quad (13.0.4)$$

式中  $\delta_s$ ——湿陷系数；

$h_0$ ——试样原始高度 (mm)；

$h_1$ ——在某级压力下，试样变形稳定后的高度 (mm)；

$h_2$ ——在某级压力下，试样浸水湿陷变形稳定后的高度 (mm)。

**第 13.0.5 条** 自重湿陷系数应按下列式计算：

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (13.0.5)$$

式中  $\delta_{zs}$ ——自重湿陷系数；

$h_z$ ——在饱和自重压力下试样变形稳定后的高度 (mm)；

$h'_z$ ——在饱和自重压力下试样浸水湿陷变形稳定后的高度 (mm)。

**第 13.0.6 条** 溶滤变形系数，应按下列式计算：

$$\delta_{wt} = \frac{h_2 - h_3}{h_0} \quad (13.0.6)$$

式中  $\delta_{wt}$ ——溶滤变形系数；

$h_3$ ——在某级压力下，长期渗透而引起的溶滤变形稳定后的试样高度 (mm)。

**第 13.0.7 条** 不同压力与黄土湿陷性系数的关系曲线，应按图 13.0.7 绘制。

**第 13.0.8 条** 黄土湿陷试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试验方法、试样密度和含水量、土粒比重以及各级垂直压

力下的变形量与浸水后的湿陷量。

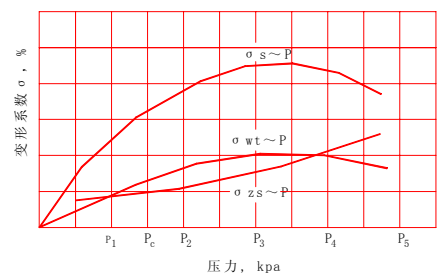


图 13.0.7 黄土的湿陷性系数与压力关系曲线

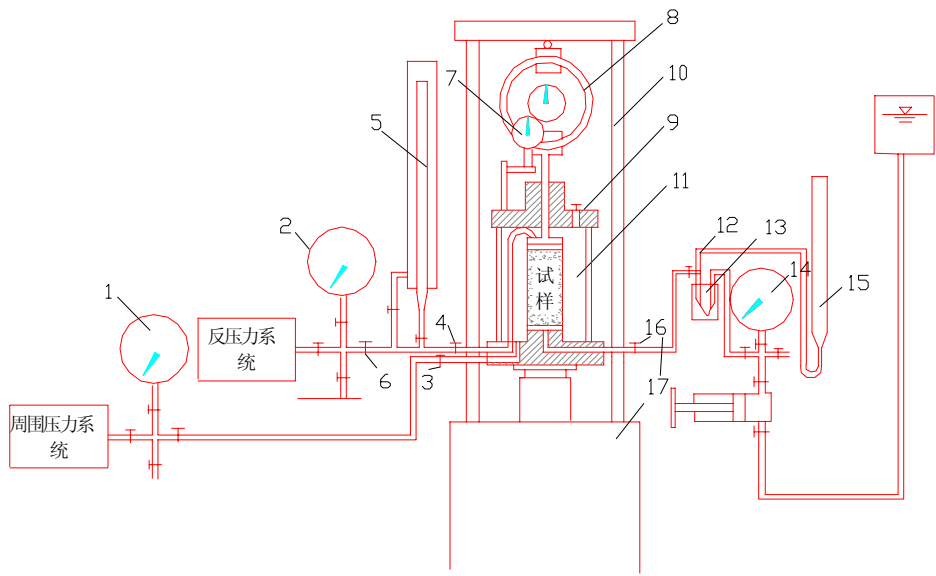


图 14.1.2—1 三轴压缩仪

1—周围压力表 2—反压力表 3—周围压力阀 4—排水阀 5—体变管 6—反压力阀 7—垂直变形百分量 8—量力环 9—排气孔 10—轴向加压设备 11—压力室 12—量管阀 13—零位指示器 14—孔隙压力表 15—量管 16—孔隙压力阀 17—离合器

# 第十四章 三轴压缩试验

## 第一节 不固结不排水试验

第 14.1.1 条 本试验方法适用于粘性土和砂性土。

第 14.1.2 条 不固结不排水试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

一、三轴压缩仪: 应变空制式 (图 14.1.2—1), 由周围压力系统、反压力系统、孔隙水压力量测系统和主机组成。

二、附属设备: 包括击实器、饱和器、切土器、分样器、切土盘、承膜筒和对开圆模, 应符合下图要求:

1. 击实器 (图 14.1.2—2), 饱和器 (图 14.1.2—3)。

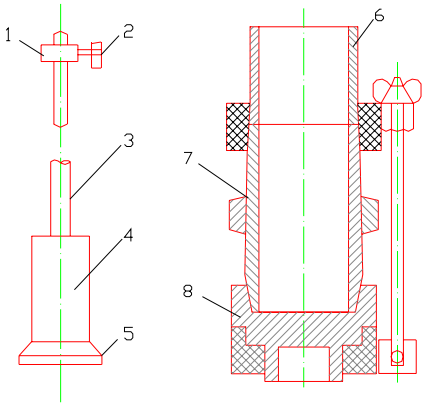


图 14.1.2—2 击实器

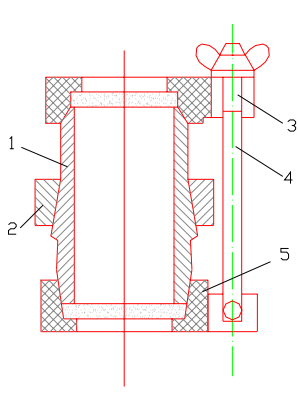


图 14.1.2—3 饱和器

1—套环; 2—定位螺丝; 3—导杆; 4—击锤; 1—土样筒; 2—紧箍; 3—夹板;  
5—底板; 6—套筒; 7—击样筒; 8—底座 4—拉杆; 5—透水石

2. 切土盘、切土器和原状土分样器 (图 14.1.2—4)。

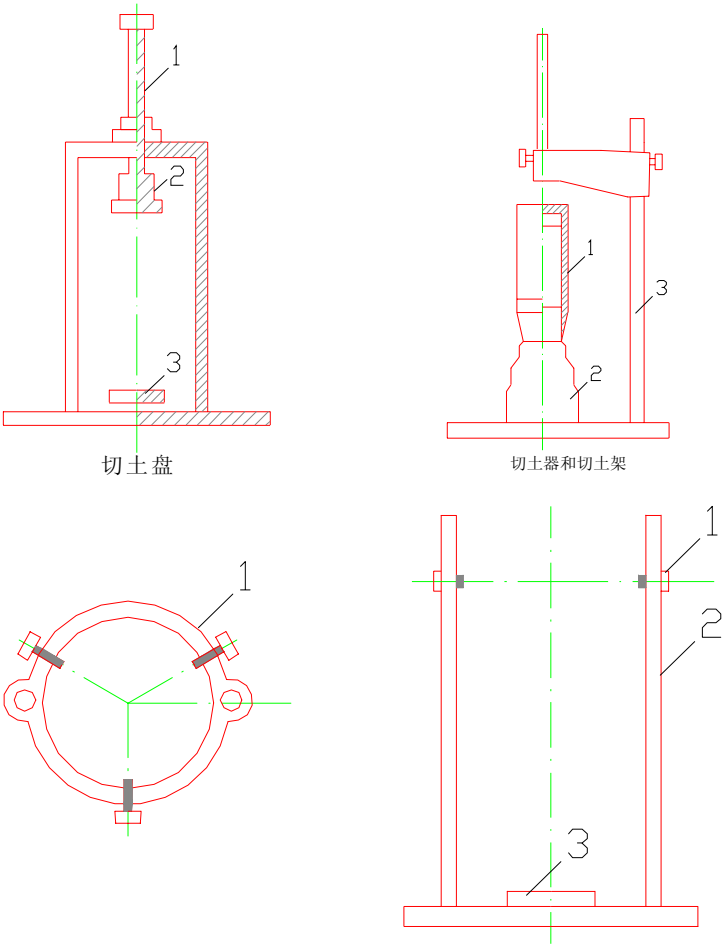


图 14.1.2—4 原状土分样器

切土盘：1—轴 2—上盘 3—下盘；  
切土器和切土架：1—切土器 2—试样 3—切土架；  
原状土分样器：1—钢丝架 2—滑杆 3—底座

3. 承膜筒及对开圆模（图 14.1.2—5 及 14.1.2—6）。

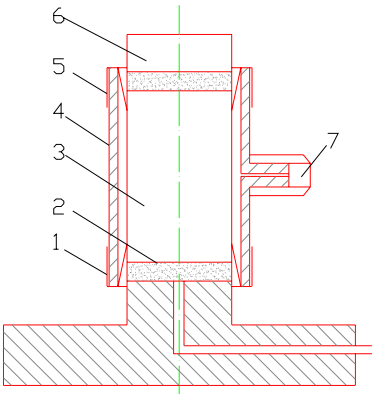


图 14.1.2—5 承膜筒

1—压力室底座；2—透水石；3—试样；  
4—承膜筒；5—橡皮膜；6—上帽；  
7—吸气孔

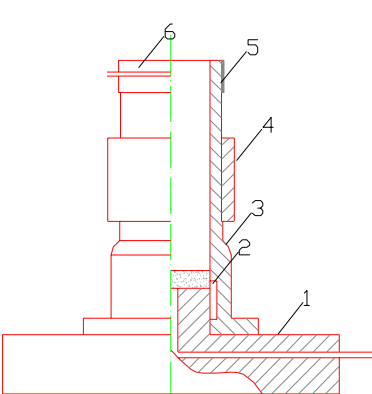


图 14.1.2—6 对开圆模

1—压力室底座；2—透水石；3—制样圆  
模（两片合成）；4—圆箍；5—橡皮膜；  
6—橡皮圈

三、天平：称量200g，感量0.01g；称量1000g，感量0.1g。

四、橡皮膜：应具有弹性，厚度应小于橡皮膜直径的 1/100，不得有漏气孔。

第 14.1.3 条 试验前的仪器检查，应按下列步骤进行：

一、周围压力的测量精度为全量程的 1%，测读分值为 5kPa。

注：采用 0.4 级的标准压力表。

二、孔隙水压力测量系统内的气泡应完全排除。系统内的气泡，可用纯水或施加压力使气泡溶于水，并从试样底座溢出，测量系统的体积因数应小于  $1.5 \times 10^{-5} \text{cm}^3/\text{kPa}$ 。

三、管路应畅通，活塞应能滑动，各连接处应无漏水。

第 14.1.4 条 试样制备应按下列步骤进行：

一、本试验需要 3—4 个试样，分别在不同周围压力下进行试

验。

二、试样尺寸：最小直径为 $\varnothing 35\text{mm}$ ，最大直径为 $\varnothing 101\text{mm}$ ，试样高度宜为试样直径的 2—2.5 倍，试样的最大粒径应符合表 14.1.4 规定。对于有裂缝、软弱面和构造面的试样，试样直径宜大于 60mm。

| 试样的土粒最大粒径    |                      | 表 14.1.4 |
|--------------|----------------------|----------|
| 试 样 尺 寸 (mm) | 允 许 最 大 粒 径 (mm)     |          |
| <100         | 试样直径的 $\frac{1}{10}$ |          |
| $\geq 100$   | 试样直径的 $\frac{1}{5}$  |          |

三、原状试样制备，应按本标准第 14.1.4 条之二款规定将土切成圆柱形试样，试样两端应平整并垂直于试样轴，当试样侧面或端部有小石子或凹坑时，允许用削下的余土修整，试样切削时应避免扰动，并取余土测定试样的含水量。

四、扰动试样制备，应根据预定的干密度和含水量，按本标准第 2.0.7 条规定备样后，在击实器内分层击实，粉质土宜为 3—5 层，粘质土宜为 5—8 层，各层土料数量应相等，各层接触面应刨毛。

五、对于砂性土应先在压力室底座上依次放上不透水板，橡皮膜和对开圆膜（见图 14.1.2—6）。将砂料填入对开圆膜内，分三层按预定干密度击实。当制备饱和试样时，在对开圆膜内注入纯水至 1/3 高度，将煮沸的砂料分三层填入，达到预定高度。放上不透水板、试样帽，扎紧橡皮膜。对试样内部施加 5kpa 负压力使试样能站立，折除对开圆膜。

六、对制备好的试样，应量测其直径和高度。试样的平均直径应按下式计算：

$$D_0 = \frac{D_1 + 2D_2 + D_3}{4} \quad (14.1.4)$$

式中  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  分别为试样上、中、下部位的直径。

**第 14.1.5 条** 试样饱和宜选用下列方法：

一、抽气饱和：应按本标准第 2.0.11 条规定进行。

二、水头饱和：将试样按本标准第 14.1.6 条规定装于压力室内，施加 **20kPa** 周围压力。水头高出试样顶部 **1m**，使纯水从底部进入试样，从试样顶部溢出，直至流入水量和溢出水相等为止。当需要提高试样的饱和度时，宜在水从饱和前，从底部将二氧化碳气体通入试样，置换孔隙中的空气，再进行水头饱和。

三、反压力饱和：试样要求完全饱和时，应对试样施加反压力。反压力系统与周围压力系统相同，但应用双层体变管代替排水量管。试样装好后，调节孔隙水压力等于大气压力，关闭孔隙水压力阀、反压力阀、体变管阀，测记体变管读数。开周围压力阀，对试样施加 **10~50kPa** 的周围压力，开孔隙水压力阀，待孔隙水压力变化稳定，测记读数。开体变管阀和反压力阀，同时施加周围压力和反压力 **30kPa**，检查孔隙水压力增量，待孔隙水压力稳定后再施加下一级周围压力和反压力。每施加一级压力都测定孔隙水压力。当孔隙水压力增量与周围压力增量之比  $\Delta u / \Delta \sigma_3 > 0.98$  时，认为试样达到饱和。

**第 14.1.6 条** 试样的安装，应按下列步骤进行：

一、在压力室底座上依次放上不透水板、试样及试样帽，将橡皮膜套在试样外，并将橡皮膜两端与底座及试样帽分别扎紧。

二、装上压力室罩，向压力室内注满纯水，关排气阀，压力室内不应有残留气泡。并将活塞对准测力计和试样顶部。

三、关排水阀，开周围压力阀，施加周围压力，周围压力值应与工程的实际荷重相适应，最大一级周围压力应与最大实际荷重大致相等。

四、转动手轮使试样帽与活塞及测力计接触，装上变形指示

计，将测力计和变形指示计读数调至零位。

**第 14.1.7 条** 剪切试样，应按下列步骤进行：

一、剪切应变速率宜为每分钟应变 0.5~1.0%。

二、启动电动机，开始剪切。试样每产生 0.3~0.4% 的轴向应变，测计一次测力计读数和轴向变形值。当轴向应变大于 3%，每隔 0.7~0.8% 的应变值测记一次读数。

三、当测力计读数出现峰值时，剪切应继续进行，超过 5% 的轴向应变为止。当测力计读数无峰值时，剪切应进行到轴向应变为 15~20%。

四、试验结束，关电动机，关周围压力阀，开排气阀，排除压力室内的水，拆除试样，描述试样破坏形状。称试样质量，并测定含水量。

**第 14.1.8 条** 轴向应变应按下列公式计算：

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h_1}{h_0} \quad (14.1.8)$$

式中  $\varepsilon_1$ ——轴向应变值 (%)；

$\Delta h_1$ ——剪力过程中的高度变化 (mm)；

$h_0$ ——试样起始高度 (mm)。

**第 14.1.9 条** 试样面积的校正，应按下列公式计算：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - \varepsilon_1} \quad (14.1.9)$$

式中  $A_a$ ——试样的校正断面积 (cm<sup>2</sup>)；

$A_0$ ——试样的初始断面积 (cm<sup>2</sup>)。

**第 14.1.10 条** 主应力差应按下列公式计算：

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{C \cdot R}{A_a} \times 10 \quad (14.1.10)$$

式中  $\sigma_1$ ——大主应力 (kPa)；

$\sigma_3$ ——小主应力 (kPa)；

$C$ ——测力计率定系数 (N/0.01mm 或 N/mV)；

R——测力计读数 (0.01mm 或 mV)；  
10——单位换算系数。

第 14.1.11 条 轴向应变与主应力差关系曲线，应在直角坐标纸上绘制。

第 14.1.12 条 以  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  的峰值为破坏点，无峰值时，取 15% 轴向应变时的主应力差值作为破坏点。以法向应力为横坐标，剪应力为纵坐标，在横坐标上以  $\frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2}$  为圆心，

$\frac{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}}{2}$  为半径 (f 注脚表示破坏)，在  $\tau \sim \sigma$  应力平面图上绘制破损应力图，并绘制不同周围压力下破损应力圆的包线。求出不排水强度参数 (图 14.1.12)。

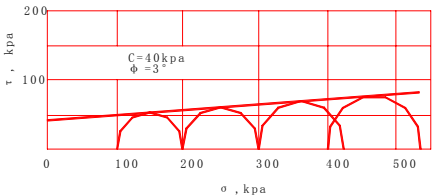


图 14.1.12 不固结不排水剪强度包线

第 14.1.13 条 不固结不排水试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试样密度、试样含水量、周围压力值、反压力值、孔隙水压力值、轴向变形量、轴向应变、剪切速率，测力计读数和测力计率定系数等。

第二节 固结不排水试验

第 14.2.1 条 本试验方法适用于粘性土和砂性土。

**第 14.2.2 条** 固结不排水试验所用的主要仪器设备,应符合本标准第 14.1.2 条规定。

**第 14.2.3 条** 试验前仪器检查以及试样制备、试样饱和,应按本章第一节不固结不排水试验的有关要求进行。

**第 14.2.4 条** 试样的安装,应按下列步骤进行:

一、开孔隙水压力阀和排水阀,对孔隙水压力系统及压力室底座充水排气后,关孔隙水压力阀和排水阀。压力室底座上依次放上透水板、滤纸、试样及试样帽。试样周围贴浸湿的滤纸条,套上橡皮膜,将橡皮膜下端与底座扎紧。从试样底部充水,排除试样与橡皮膜之间的气泡,并将橡皮膜上端与试样帽扎紧。降低排水管,使管内水面位于试样中心以下20—40cm,吸除余水,关排水阀。需要测定应力应变时,应在试样与透水板之间放置中间夹有硅脂的两层圆形橡皮膜,膜中间应留直径为1cm的圆孔排水。

二、安装压力室罩、充水。提高排水管使管内水面与试样高度的中心齐平,测记排水管水面读数。

三、开孔隙水压力阀,使孔隙水压力值等于大气压力,关闭孔隙水压力阀。按本标准第 14.1.6 条规定施加周围压力。调整轴向压力、轴向变形和孔隙水压力的零点,并记下体积变化量管的读数。当需要施加反压力时,应按本标准第 14.1.5 条之三款步骤施加。

**第 14.2.5 条** 试样排水固结应按下列步骤进行:

一、开孔隙水压力阀,测定孔隙水压力。开排水阀。当需测定排水过程时,应按本标准第 12.0.5 条之六款规定测记排水管水面及孔隙水压力值,直至孔隙水压力消散95%以上。固结完成后,关排水阀,测记排水管读数和孔隙水压力读数。

二、微调压力机升降台,使活塞与试样接触,此时轴向变形百分表的变化值为试样固结时的高度变化。

**第 14.2.6 条** 剪切试样应按下列步骤进行:

一、将轴向测力计、轴向变形百分表及孔隙水压力读数均调整至零。

二、选择剪切应变速率,进行剪切。粘质土每分钟应变为 0.05~0.1%;粉质土每分钟应变为 0.1~0.5%。

三、轴向压力、孔隙水压力和轴向变形,应按本标准第 14.1.7 条之二、三款测记。

四、试验结束,关电动机和各阀门,开排气阀,排除压力室内的水,折除试样,描述试样破坏形状。称试样质量并测定含水量。

第 14.2.7 条 试样固结后的高度,应按下式计算:

$$h_c = h_0 \left( 1 - \frac{\Delta V}{V_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (14.2.7)$$

式中  $h_c$ ——试样固结后的高度 (cm);

$\Delta V$ ——试样固结后与固结前的体积变化 (cm<sup>3</sup>)。

第 14.2.8 条 试样固结后的面积,应按下式计算:

$$A_c = A_0 \left( 1 - \frac{\Delta V}{V_0} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (14.2.8)$$

式中  $A_c$ ——试样固结后的断面积 (cm<sup>2</sup>)。

第 14.2.9 条 剪切时试样的校正面积,应按下式计算:

$$A_a = \frac{A_c}{1 - \varepsilon_1} \quad (14.2.9)$$

第 14.2.10 条 主应力差应按标准第 14.1.10 条计算。

第 14.2.11 条 有效主应力比,应按下列公式计算:

一、有效大主应力:

$$\sigma_1' = \sigma_1 - u \quad (14.2.11-1)$$

式中  $\sigma_1'$ ——有效大主应力 (kPa);

$u$ ——孔隙水压力 (kPa)。

二、有效小主应力:

$$\sigma_3' = \sigma_3 - u \quad (14.2.11-2)$$

式中  $\sigma_3'$ ——有效小主应力 (kPa)。

三、有效主应力比：

$$\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'} - 1 = \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_3'} \quad (14.2.11-3)$$

第 14.2.12 条 孔隙水压力系数，应按下列公式计算：

一、初始孔隙水压力系数：

$$B = \frac{u_0}{\sigma_3} \quad (14.2.12-1)$$

式中  $B$ ——初始孔隙水压力系数；

$u_0$ ——施加周围压力产生的孔隙水压力 (kPa)。

二、破坏时孔隙水压力系数：

$$A_f = \frac{u_f}{B (\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (14.2.12-2)$$

式中  $A_f$ ——破坏时的孔隙水压力系数；

$u_f$ ——试样破坏时，主应力差产生的孔隙水压力 (kPa)。

第 14.2.13 条 轴向应变与主应力差关系曲线，应按图 14.2.13 绘制。

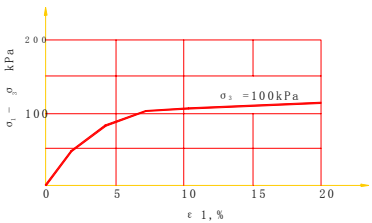


图 14.2.13 主应力差与轴向应变关系曲线

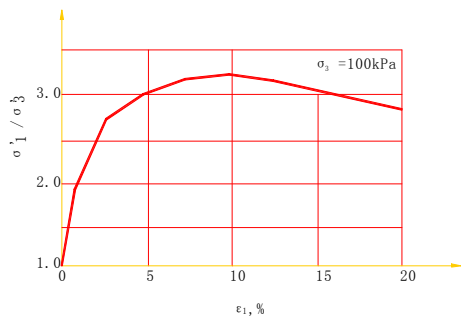


图 14.2.14 有效主应力比与轴向应变关系曲线

第 14.2.14 条 轴向应变与有效主应力比的关系曲线，应按图 14.2.14 绘制。

第 14.2.15 条 轴向应变和孔隙水压力的关系曲线，应按图 14.2.15 绘制。

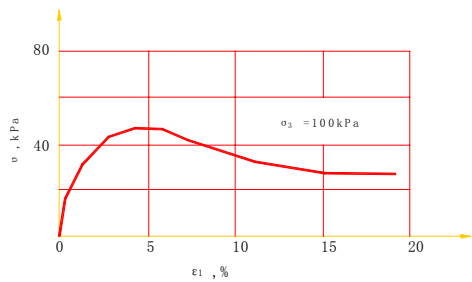


图 14.2.15 孔隙压力与轴向应变关系曲线

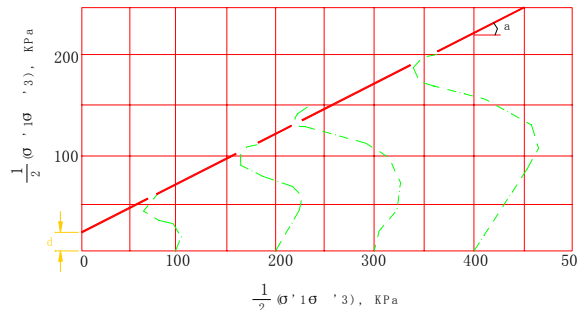


图 14.2.16 应力路径曲线

第 14.2.16 条 有效应力路径曲线,应按图 14.2.16 绘制,并应计算有效摩擦角和有效凝聚力。

第 14.2.17 条 有效摩擦角,应按下式计算:

$$\phi = \sin^{-1} \tan \alpha \quad (14.2.17)$$

式中  $\phi$ ——有效摩擦角 (°);  
 $\alpha$ ——应力路径图上破坏点连线的倾角 (°)。

第 14.2.18 条 有效凝聚力,应按下式计算:

$$c' = \frac{d}{\cos \phi} \quad (14.2.18)$$

式中  $c'$ ——有效凝聚力 (kPa);  
 $d$ ——应力路径图上破坏点连线在纵轴上的截距 (kPa)。

第 14.2.19 条 破损应力圆、摩擦角和凝聚力,应按本标准第 14.1.12 条绘制和确定。有效摩擦角和有效凝聚力,应以  $\frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2}$  为圆心,  $\frac{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}}{2}$  为半径绘制有效破损应力圆确定 (图 14.2.19)。

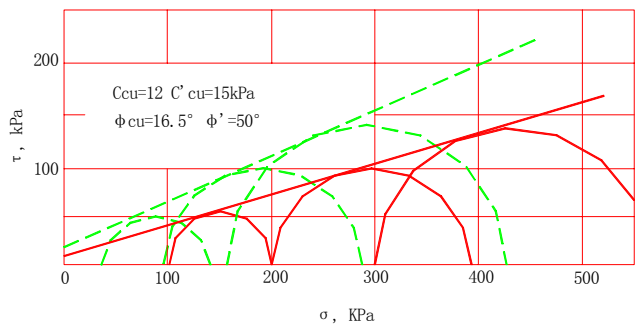


图 14.2.19 固结不排水剪强度包线

第 14.2.20 条 固结不排水试验的记录,应包括工程编号、试样编号、试样的密度、试样的含水量、周围压力值、反压力值、孔隙水压力值、孔隙水压力系数的计算,主应力比、轴向变形及轴向应变、剪切速率和固结排水量,试样破坏时的描述,测力计读数及率定系数。

第三节 固结排水试验

第 14.3.1 条 本试验方法适用于粘性土和砂性土。

第 14.3.2 条 固结排水试验所用的主要仪器设备,应符合本标准第 14.1.2 条规定。

第 14.3.3 条 试验前仪器检查以及试样的制备和饱和,应按本章第一节不固结不排水试验的相应规定进行。

第 14.3.4 条 试样的安装、固结和剪切,应按本章第二节固结不排水试验的相应规定进行。但在剪切过程中应打开排水阀,剪切速率采用每分钟应变 0.003~0.012%。

第 14.3.5 条 试样固结后的高度以及试样固结后的面积,应按本章第二节固结不排水试验的相应公式计算。

第 14.3.6 条 剪切时试样的校正面积，应按下式计算：

$$A_a = \frac{V_c - \Delta V_i}{h_c - \Delta h_i} \quad (14.3.6)$$

式中  $\Delta V_i$ ——剪切过程中试样的体积变化 (cm<sup>3</sup>)；

$\Delta h_i$ ——剪切过程中试样的高度变化 (cm)。

第 14.3.7 条 主应力差应按本标准第 14.1.10 条计算。

第 14.3.8 条 有效主应力比以及孔隙水压力系数，应按本章第二节固结不排水试验的相应公式计算。

第 14.3.9 条 轴向应变与主应力差的关系曲线，以及轴向应变与主应力比的关系曲线，应按本章第二节固结不排水试验的相应规定绘制。并应绘制轴向应变与体应变关系曲线。

第 14.3.10 条 破损应力圆、摩擦角和凝聚力，应按本标准第 14.1.12 条绘制和确定 (图 14.3.10)。

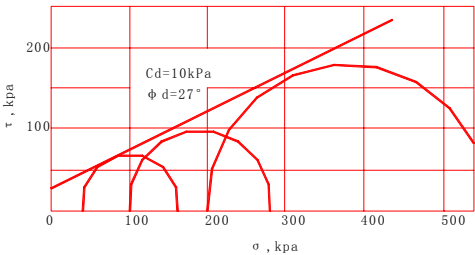


图 14.3.10 固结排水剪强度包线

第 14.3.11 条 固结排水试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试样的密度、试样的含水量、周围压力值、反压力值、主应力比、轴向变形及轴向应变、剪切速率和排水量，试样破坏时的描述，测力计读数和率定系数。

#### 第四节 一个试样多级加荷试验

**第 14.4.1 条** 本试验方法适用于无法切取多个试样的原状土样。

**第 14.4.2 条** 多级加荷试验所需的主要仪器设备,应符合本标准第 14.1.2 条的规定。

**第 14.4.3 条** 试验前的仪器检查以及试样的制备、饱和和安装,应按本章第一节不固结不排水试验的相应规定进行。

**第 14.4.4 条** 不固结不排水试验,应按下列步骤进行:

一、施加第一级周围压力,按本标准第 14.1.8 条规定的剪切应变速率进行剪切,当测力计读数达到稳定或出现倒退时关闭电动机,并测记测力计和轴向变形读数。

二、施加第二级周围压力,稳定 10~20min,将测力计调整到上一级周围压力下剪切结束时测力计和轴向变形的读数,并按同样方法剪切到测力计读数稳定。依次进行第三、第四级周围压力下的剪切。累积的轴向应变不超过 20%。

三、试样结束后,拆除试样,称试样质量,并测定含水量。

**第 14.4.5 条** 计算及绘图,应按本标准第 14.1.8 条至第 14.1.12 条进行。试样的轴向变形按累积变形计算。

**第 14.4.6 条** 固结不排水试验,应按下列步骤进行:

一、施加第一级周围压力,宜采用 50kPa,并应按本标准第 14.2.5 条进行试样固结。

二、试样剪切应按本标准第 14.2.6 条进行。第一级剪切完成后,退除轴向压力,待孔隙水压力稳定后施加第二级周围压力,进行排水固结。

注:第二级和以后各级周围压力应等于、大于前一级周围压力下的破坏大主应力。

三、固结完成后进行第二级周围压力下的剪切,并应按此步骤进行至最后一级周围压力下的剪切,累积的轴向应变不超过

20%。

四、试验结束后，拆除试样，称试样质量，并测定含水量。

**第 14.4.7 条** 计算与绘图，应按本标准第 14.2.7 条至第 14.2.19 条进行。试样的轴向变形，应以前一级固结終了时的试样高度作为后一级的起始高度，计算各级周围压力下的轴向应变。

**第 14.4.8 条** 一个试样多级加荷试样的记录，应与本标准第 14.1.13 条和第 14.2.20 条相同。

## 第十五章 无侧限抗压强度试验

第 15.0.1 条 本试验方法适用于饱和粘性土。

第 15.0.2 条 无侧限抗压强度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、应变控制式无侧限压力仪：由测力计、加压框架，升降设备组成（图 15.0.2）。

二、百分表：量程 10mm，分度值 0.01mm。

三、天平：称量 1000g，感量 0.1g。

第 15.0.3 条 原状土试样制备，应按本标准第 14.1.4 条之三款进行。试样直径宜为 35～50mm，高度与直径之比宜采用 2.0～2.5。

第 15.0.4 条 无侧限抗压强度试验，应按下列步骤进行：

一、将试样两端抹一薄层凡士林，在气候干燥

时，试样周围亦需抹一薄层凡士林，防止水分蒸发。

二、将试样放在底座上，试样与加压板刚好接触，将测力计

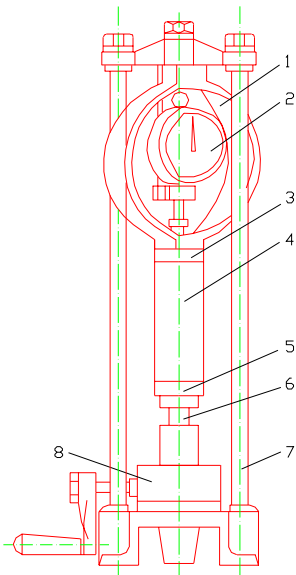


图 15.0.2 应变控制式无侧限压力仪  
1—测力计 2—百分表；3—上加压板；  
4—试样 5—下加压板；6—螺杆；7—  
加压框架 8—升降设备

读数调至零。根据试样的软硬程度选用不同量程的测力计。

三、轴向应变速率宜为每分钟 2~3%。转动手柄，使升降设备上升进行试验，轴向应变小于 3%时，每隔 0.5%应变读数一次；轴向应变大于、等于 3%时，每隔 1%应变读数一次。试验宜在 8~10min 内完成。

四、当测力计读数出现峰值时，继续进行 3~5%的应变值后停止试验；当读数无峰值时，试验应进行到应变达 20%为止。

五、试验结束，取下试样，描述试样破坏后的形状。

六、当需要测定灵敏度时，将破坏后的试样除去涂有凡士林的表面，加少许余土，包于塑料布内用手搓捏，破坏其结构，重塑成圆柱形，放入重塑筒内，用金属垫板，将试样挤成与原状试样相等的尺寸、密度和含水量，并按本条一至五款进行试验。

第 15.0.5 条 试样轴向变形，应按下式计算：

$$\Delta h = n \cdot \Delta l - R \quad (15.0.5)$$

式中  $\Delta h$ ——轴向变形 (mm)；

$n$ ——螺杆上升转数；

$\Delta l$ ——螺杆上升一转的垂直距离 (0.01mm)；

$R$ ——测力计读数 (0.01mm)。

第 15.0.6 条 轴向应变，应按下式计算：

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (15.0.6)$$

第 15.0.7 条 试样校正面积，应按下式计算：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - \varepsilon_1} \quad (15.0.7)$$

第 15.0.8 条 试样所受的轴向应力，应按下式计算：

$$\sigma = \frac{C \cdot R}{A_s} \times 10 \quad (15.0.8)$$

式中  $\sigma$ ——轴向应力 (kPa)；

10——单位换算系数。

**第 15.0.9 条** 轴向应变与轴向应力的关系曲线，应按图 15.0.9 绘制。并取曲线上最大轴向应力作为无侧限抗压强度，当曲线上峰值不明显时，应取轴向应变为 15% 处的轴向应力为无侧限抗压强度。

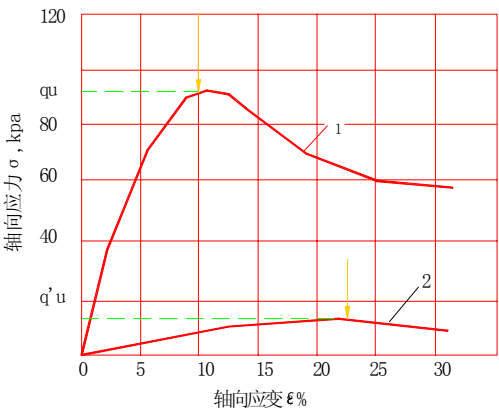


图 15.0.9 轴向应力与轴向应变关系曲线  
1—原状试样； 2—重塑试样

**第 15.0.10 条** 灵敏度应按下式计算：

$$S_t = \frac{q_u}{q'_u} \tag{15.0.10}$$

式中  $S_t$ ——灵敏度；  
 $q_u$ ——原状试样的无侧限抗压强度 (kPa)；  
 $q'_u$ ——重塑试样的无侧限抗压强度 (kPa)。

**第 15.0.11 条** 无侧限抗压强度试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试样的密度和含水量，试样直径和高度，试样破坏时的轴向应变和轴向应力以及破坏时试样的描述。

## 第十六章 直接剪切试验

### 第一节 粘性土的慢剪试验

第 16.1.1 条 本试验方法适用于粘性土。

第 16.1.2 条 粘性土的慢剪试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

一、应变控制式直剪仪:由剪切盒、垂直加荷设备、剪切传动装置、测力计、位移量测系统(图 16.1.2)组成。

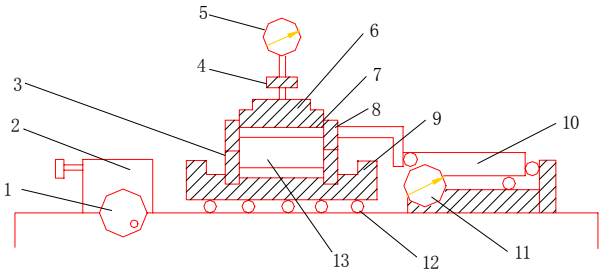


图 16.1.2 应变控制式直剪仪示意图

- 1—剪切传动机构 2—推动座 3—下盒  
4—垂直加荷框架 5—垂直位移量表 6—  
传压板 7—透水板 8—上盒 9—储水盒  
10—剪切力计量仪表 11—水平位移量表  
12—滚珠 13—试样

二、环刀:内径 61.8mm,高 20mm。

三、位移量测设备:百分表或传感器,百分表量程应为 10mm,分度值为 0.01mm,传感器的精度应为零级。

第 16.1.3 条 粘性土的慢剪试验,应按下列步骤进行:

一、原状土试样制备，应按本标准第 2.0.6 条步骤进行。每组试样不得少于 4 个，扰动土试样制备应按本标准第 2.0.7 条步骤进行；当试样需要饱和时，应按本标准第 2.0.9 条步骤进行。

二、对准剪切容器上下盒，插入固定销，在下盒内放透水石和滤纸，将带有试样的环刀刃口向上，对准剪切盒口，在试样上放滤纸和透水石，将试样小心地推入剪切盒内。

三、移动传动装置，使上盒前端钢珠刚好与测力计接触，依次加上传压板，加压框架，安装垂直位移量测装置，测记初始读数。

四、根据工程实际和土的软硬程度施加各级垂直压力，然后向盒内注水，当试样为非饱和试样时，应在加压板周围包以湿棉花。

五、施加垂直压力，每 1h 测定垂直变形一次。试样固结稳定时的垂直变形值为：粘性土垂直变形每 1h 不大于 0.05。

六、拨去固定销，以小于 0.02mm/min 的剪切速度进行剪切，并每隔一定时间测记测力计百分表读数，直至剪损。

七、当需要估算试样剪切破坏时间时，可按式计算：

$$t_f = 50t_{50} \quad (16.1.3)$$

式中  $t_f$ ——达到破坏所经历的时间 (min)；

$t_{50}$ ——固结度达 50%所需的时间 (min)。

八、当测力计百分表读数不变或后退时，应继续剪切至剪切位移为 4mm 时停止，记下破坏值。当剪切过程中测力计百分表读数无峰值时，则剪切至剪切位移达 6mm 时停止。

九、剪切结束，吸掉盒内积水，退去剪切力和垂直压力，移动压力框架，取出试样，测定试样含水量。

**第 16.1.4 条** 剪切位移应按式计算：

$$\Delta l = \Delta l' n' - R \quad (16.1.4)$$

式中  $\Delta l$ ——剪切位移 (0.01mm)；

$n'$ ——手轮转数；

$\Delta l'$ ——手轮转一转的位移量 (0.01mm)。

第 16.1.5 条 剪应力应按下列式计算：

$$\tau = c \cdot R / A_0 \times 10 \tag{16.1.5}$$

式中  $\tau$ ——试样的剪应力 (kPa)。

第 16.1.6 条 剪应力与剪切位移的关系曲线，应按图 16.1.6 绘制。

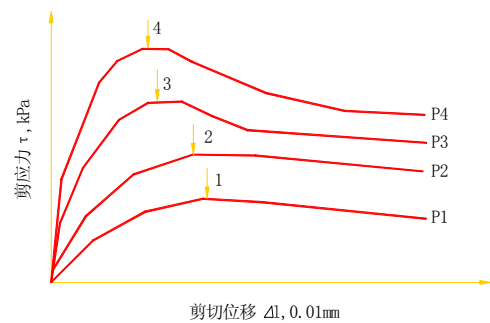


图 16.1.6 剪应力与剪切位移关系曲线

第 16.1.7 条 剪应力与剪切位移关系曲线上的峰值点或稳定值，应作为抗剪强度。

第 16.1.8 条 垂直压力与抗剪强度的关系曲线，应按图 16.1.8 绘制。并应确定摩擦角和凝聚力。

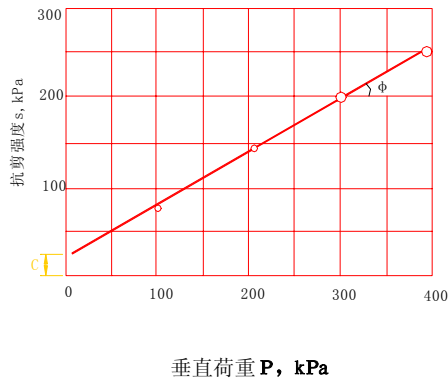


图 16.1.8 抗剪强度与垂直压力关系曲线

第 16.1.9 条 粘性土的慢剪试验的记录，应包括工程编号，试样编号、剪切速率剪切位移、测力计读数、剪切前后的试样密度和含水量，剪切破坏状况及剪切仪种类。

第二节 粘性土的固结快剪试验

第 16.2.1 条 本试样方法适用于渗透系数小于  $10^{-6}\text{cm/s}$  的粘性土。

第 16.2.2 条 粘性土的固结快剪试验所用的主要仪器设备，应与本标准第 16.1.2 条相同。

第 16.2.3 条 粘性土的固结快剪试验，应按下列步骤进行：  
一、试验制备、安装和固结，应按本标准第 16.1.3 条之一至五款进行。

二、固结快剪试验的剪切速度应为  $0.8\text{mm/min}$ ，其试验步骤应按本标准第 16.1.3 条之六至九款进行。

第 16.2.4 条 固结快剪试验的计算应符合本标准第 16.1.4 条

和第 16.1.5 条规定。

第 16.2.5 条 固结快剪试验的绘图，应符合本标准第 16.1.6 条、第 16.1.7 条和 16.1.8 条的规定。

第 16.2.6 条 固结快剪试验的记录，应与本标准第 16.1.9 条相同。

### 第三节 粘性土的快剪试验

第 16.3.1 条 本试验方法适用于渗透系数小于  $10^{-6}\text{cm/s}$  的粘土。

第 16.3.2 条 粘性土的快剪试验所用的主要仪器设备，应与本标准第 16.1.2 条相同。

第 16.3.3 条 粘性土的快剪试验，应按下列步骤进行：

一、试样制备和安装，应符合本标准第 16.1.3 条之一至四款进行。

二、施加垂直压力，拨出固定销，立即开动秒表，以  $0.8\text{mm/min}$  的剪切速度进行，并按本标准第 16.1.3 条之八、九款进行剪切。

第 16.3.4 条 粘性土快剪试验的计算，应按本标准第 16.1.4 条和第 16.1.5 条进行。

第 16.3.5 条 粘性土的快剪试验的绘图，应按本标准第 16.1.6 条、第 16.1.7 条和第 16.1.8 条进行。

第 16.3.6 条 粘性土的快剪试验的记录，应与本标准第 16.1.9 条相同。

### 第四节 砂性土的直剪试验

第 16.4.1 条 本试验方法适用于砂性土。

第 16.4.2 条 砂性土的直剪试验所用的主要仪器设备，应与本标准第 16.1.2 条相同。

第 16.4.3 条 砂性土的直剪试验，应按下列步骤进行：

- 一、取过 2mm 筛的风干砂样 1200g，并按本标准第 2.0.7 条步骤制备砂样。
- 二、根据预定的试样干密度称取每个试样的风干砂质量，准确至 0.1g。
- 三、对准剪切容器上下盒插入固定销，放入透水石。
- 四、将试样倒入剪切容器内，放上硬木块轻轻敲打，使试样达到预定干密度，取出硬木块，拂平砂面。
- 五、试样剪切应按本标准第 16.2.3 条之二款进行。

第 16.4.4 条 砂性土直剪试验的计算，应按本标准第 16.1.4 条和 16.1.5 条进行。

第 16.4.5 条 砂性土直剪试验的绘图，应按本标准第 16.1.6 条、第 16.1.7 条和第 16.1.8 条进行。当要求砂土在某干密度下的抗剪强度时，可在直角坐标上绘制一定干密度下抗剪强度与垂直压力的关系曲线（图 16.4.5—1）；当要求砂土在某垂直压力下的抗剪强度时，可绘制在一定垂直压力下的抗剪强度与干密度的关系曲线（16.4.5—2）。

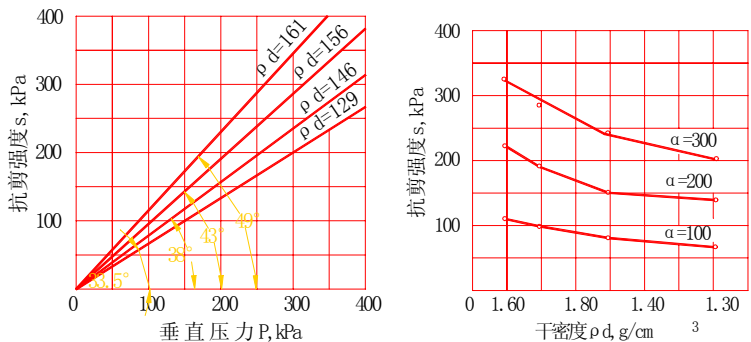


图 16.4—5—1 抗剪强度与垂直压力关系曲线      16.4.5—2 抗剪强度与干密度的关系曲线

第 16.4.6 条 砂性土的直剪试验的记录，应与本标准第 16.1.9 条相同。

## 第十七章 反复直剪强度试验

第 17.0.1 条 本试验方法适用于粘性土和泥化夹层。

第 17.0.2 条 反复直剪强度试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

应变控制式反复直剪仪：包括变速设备和可逆电动机（图 17.0.2），

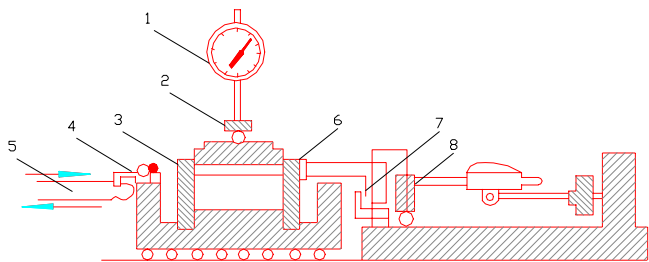


图 17.0.2 反复直剪仪示意图

1—垂直变形百分表 2—加荷框架 3—试样 4—连接件  
5—推动轴 6—剪切盒 7—限制连接件 8—测力计

第 17.0.3 条 反复直剪强度试验，应按下列步骤进行：

一、试样制备：

1. 对于有软弱面的原状土样，先整平土样两端，使土的顶、底面平行土体软弱面，用环刀切取试样，当切到软弱面后向下切 10mm，使软弱面位于试样高度的中部，密度较低的试样，下半部应略厚些。

2. 对于无软弱面的原状土样，按第 2.0.6 条进行。

3. 对于泥化夹层或滑坡层面，无法取得原状土样时，可刮

取夹层或层面上的土，制备成液限状态的土膏，分层填入环刀内，边填边排气，同组试样的填入密度差值不大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，并取软弱面上的土测定其含水量。

4. 当试样需要饱和时，按第 2.0.9 条进行。

二、试样安装、加荷和固结排水，应按本标准第 16.1.3 条之二至五款进行。

三、启动电动机正向开关以  $0.02\text{mm}/\text{min}$  速率进行剪切，按时间测读位移和测力计读数，在剪应力达到峰值前，按剪切位移  $0.2\sim 0.4\text{mm}$  测读一次，剪应力超过峰值后，按剪切位移  $0.5\text{mm}$  测读一次，直至最大位移达  $8\sim 10\text{mm}$  时停止剪切。

四、第一次剪切完成后，启动反向开关，将剪切盒退回原位，插入固定销，反推速率应小于  $0.6\text{mm}/\text{min}$ 。

五、等待半小时后，重复本条二至三款步骤进行第二次剪切，如此反复剪切次数，直至剪应力达到稳定值为止。对中、低粘性土，需剪切  $5\sim 6$  次，总剪切位移量达  $40\sim 50\text{mm}$ ；对高粘性土，需剪切  $3\sim 4$  次，总剪切位移量达  $30\sim 40\text{mm}$ 。

六、剪切结束，吸去盒中积水，卸除压力，取出试样，描述剪切面破坏情况，取剪切面上试样测定剪后含水量。

**第 17.0.4 条** 试样的残余强度，应按下式计算：

$$S_r = c \cdot R \quad (17.0.4)$$

式中  $S_r$ ——残余强度 (kPa)。

**第 17.0.5 条** 剪应力与剪切位移的关系曲线，应在直角坐标纸上绘制，并应以剪应力为纵坐标，剪切位移为横坐标（图 17.0.5）。图上第一次剪切峰值为慢剪强度，最后稳定值为残余强度。

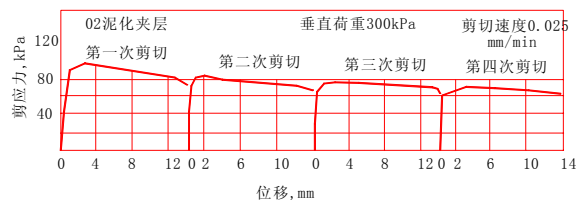


图 17.0.5 剪应力与剪切位移关系曲线

第 17.0.6 条 抗剪强度与垂直压力的关系曲线，应按图 17.0.6 绘制。

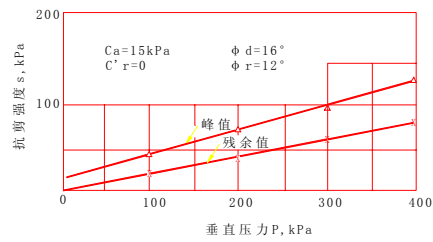


图 17.0.6 抗剪强度与垂直压力关系曲线

第 17.0.7 条 反复直剪强度试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试样性质、剪切速率、剪切次数、最大剪切位移、测力计读数、试样剪切前后的密度和含水量。

## 第十八章 自由膨胀率试验

第 18.0.1 条 本试验方法适用于膨胀土。

第 18.0.2 条 自由膨胀率试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

- 一、量筒: 容积为 50ml, 最小刻度 1ml, 容积与刻度需经过校正。
- 二、量土杯: 容积为 10ml, 内径 20mm。
- 三、无颈漏斗: 上口直径 50~60mm, 下口直径 4~5mm。
- 四、搅拌器: 由直杆和带孔圆盘构成 (图 18.0.2)。
- 五、天平: 称量 200g, 感量 0.01g。

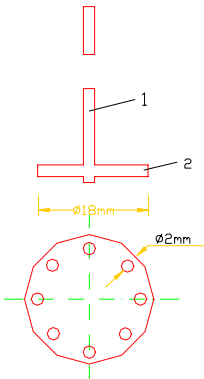


图 18.0.2 搅拌器示意图  
1—直杆; 2—圆盘。

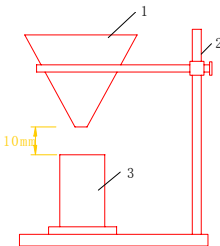


图 18.0.3 量样装置  
1—漏斗 2—支架 3—量土杯

第 18.0.3 条 自由膨胀率试验, 应按下列步骤进行:

一、用四分对角法取风干土碾细并经过 0.5mm 筛。将筛下土样拌匀，在 105~110℃ 温度下烘干，置于干燥缸内冷却至室温。

二、将无颈漏斗放在支架上，漏斗下口对准量土杯中心并保持距离 10mm，见图 18.0.3。

三、用取土匙取适量试样倒入漏斗中，倒土时匙应与漏斗壁接触，并尽量靠近漏斗底部，边倒边用细铁丝轻轻搅动，当量杯装满土样开始溢出时，停止向漏斗倒土，移开漏斗刮去杯口多余土，将量土杯中试样倒入匙中，再次将量土杯按图 18.0.3 所示置于漏斗下方，将匙中土按上述方法全部倒回漏斗并落入量土杯，刮去多余土，称量土杯中试样质量。本步骤应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于 0.1g。

四、在量筒内注入 30ml 纯水，加入 5ml 浓度为 5% 的分析纯 NaCl 溶液，将试样倒入量筒内，使搅拌器上下搅拌悬液各 10 次，用纯水冲洗搅拌器和量筒壁至悬液达 50ml。

五、待悬液澄清后，每 5h 测读 1 次上面读数（估读至 0.1ml）。直至两次读数差值不超过 0.2ml 时，膨胀稳定。

第 18.0.4 条 自由膨胀率应按式计算，精确至 1.0%。

$$\delta_{ef} = \frac{V_{we} - V_0}{V_0} \times 100 \quad (18.0.4)$$

式中  $\delta_{ef}$ ——自由膨胀率（%）；

$V_{we}$ ——试样在水中膨胀后的体积（ml）；

$V_0$ ——试样原体积，10ml。

第 18.0.5 条 自由膨胀率试验，应进行两次平行测定。当  $\delta_{ef}$  小于 60% 时，平行差值不得大于 5%，当  $\delta_{ef}$  大于、等于 60% 时，平行差值不得大于 8%。

第 18.0.6 条 自由膨胀率试验的记录，应包括工程编号、试样编号、量土杯体积、干土质量及试样在量筒中的体积。

## 第十九章 膨胀率试验

### 第一节 有荷载膨胀率试验

**第 19.1.1 条** 本试验方法适用于膨胀土。

**第 19.1.2 条** 有荷载膨胀率试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

一、固结仪(图 12.0.2):应附加荷设备,试验前必须率定不同压力下的仪器变形量。

注:加压上盖应为轻质材料并带护环。

二、环刀:直径为 61.8mm 或 79.8mm,高度为 20mm。

三、百分表:量程 10mm,分度值 0.01mm。

**第 19.1.3 条** 有荷载膨胀率试验,应按下列步骤进行:

一、试样制备应按本标准第 2.0.6 条、第 2.0.7 条和第 2.0.8 条进行。

二、试样安装应按本标准第 12.0.5 条之一、二款进行,并在试样和透水石之间加薄型滤纸。

三、分级或一次连续施加所要求的荷载,变形稳定标准为每小时变形不超过 0.01mm,测记百分表读数。再自下而上向容器内注入纯水,并保持水面高出试样 5mm。

四、浸水后每隔 2h 测记百分表读数一次,直至两次差值不超过 0.01mm 时膨胀稳定,测记百分表读数。

五、试验结束,吸去容器中的水,卸除荷载,取出试样,称试样质量,并测定其含水量。

**第 19.1.4 条** 特定荷载下的膨胀率,应按下式计算:

$$\delta_{ep} = \frac{Z_p + \lambda - Z_0}{h_0} \quad (19.1.4)$$

式中  $\delta_{ep}$ ——某荷载下的膨胀率 (%)；  
 $Z_p$ ——某荷载下膨胀稳定后的百分表读数 (mm)，  
 $Z_0$ ——加荷前百分表初读数 (mm)；  
 $\lambda$ ——某荷载下的仪器压缩变形量 (mm)；  
 $h_0$ ——试样的初始高度 (mm)。

**第 19.1.5 条** 有荷载膨胀率试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试样初始高度，试验前、后试样湿质量和干质量，加荷后不同时间下试样的压缩变形量和浸水后不同时间下试样的膨胀量。

## 第二节 无荷载膨胀率试验

**第 19.2.1 条** 本试验方法适用于膨胀土。

**第 19.2.2 条** 无荷载膨胀率试验所用的主要仪器设备，应与本标准第 12.0.2 条相同。

**第 19.2.3 条** 无荷载膨胀率试验，应按下列步骤进行：

一、试样制备应按本标准第 2.0.6 条，第 2.0.7 条和第 2.0.8 条进行。

二、试样安装应按本标准第 12.0.5 条之一、二款进行。

三、自下而上向容器内注入纯水，并保持水面高出试样 5mm，注水后每隔 2h 测记百分表读数一次，直至两次差值不超过 0.01mm 时，膨胀稳定。

四、试验结束后，吸去容器中的水，取出试样，称试样质量，测定其含水量和密度，并计算孔隙比。

**第 19.2.4 条** 任一时间的膨胀率，应按下式计算：

$$\delta_e = \frac{Z_t - Z_0}{h_0} \times 100 \quad (19.2.4)$$

式中  $\delta_e$ ——时间为 t 时的无荷载膨胀率 (%)；

$Z_t$ ——时间为 t 时的百分表读数 (mm)。

**第 19.2.5 条** 无荷载膨胀率试验，宜绘制膨胀率与时间关系

曲线。

**第 19.2.6 条** 无荷载膨胀试验的记录，应包括工程编号、试样编号、浸水前后试样的湿质量和干质量，试样在不同时间的膨胀量。

## 第二十章 膨胀力试验

**第 20.0.1 条** 本试验方法适用于原状和击实粘性土。

**第 20.0.2 条** 膨胀力试验所用的主要仪器设备,应与本标准第 19.1.2 条相同。

**第 20.0.3 条** 膨胀力试验,应按下列步骤进行:

一、试样制备应按本标准第 2.0.6 条、第 2.0.7 条和第 2.0.8 条进行。

二、试样安装应按本标准第 12.0.5 条之一、二款进行并自下而上向容器内注入纯水。

三、当百分表开始顺时针转动时,表明试样开始膨胀,立即施加适当的平衡荷重,使百分表指针回到原位。

四、当施加的荷重足以使仪器产生变形时,在施加下一级平衡荷重时,百分表指针应逆时针转动一个等于仪器变形量的数值。

五、当试样在某级荷重下间隔 2h 不再膨胀时,则试样在该级荷重下达到稳定。

六、试验结束后,吸去容器内水,缸除荷重,取出试样,称试样质量,并测定含水量。

**第 20.0.4 条** 膨胀力应按下列公式计算:

$$P_e = 0.1 \times \frac{W}{A} \quad (20.0.4)$$

式中  $P_e$ ——膨胀力 (kPa);

$W$ ——施加在试样上的总平衡荷重 (N);

$A$ ——试样面积 (cm<sup>2</sup>)。

**第 20.0.5 条** 膨胀力试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试验前后试样的湿质量和干质量，不同时间作用于试样上的总平衡荷重。

## 第二十一章 收缩试验

第 21.0.1 条 本试验方法适用于原状土和击实粘性土。

第 21.0.2 条 收缩试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

一、收缩仪(图 21.0.2):多孔板上孔的面积应占整个板面积的 50%以上。

二、环刀:直径 61.8mm,高度 20mm。

第 21.0.3 条 收缩试验应按下列步骤进行:

一、试样制备,应按本标准第 2.0.6 条、第 2.0.7 条和第 2.0.8 条进行。将试样推出环刀(当试样百分表不变。在收缩曲线的 I 阶段内应取得不少于 4 个数据。

三、试验结束,取出试样,并在 105~110℃下烘干。称干土质量,精确至 0.1g。

四、按本标准第四章中蜡封法测定烘干试样体积。

第 21.0.4 条 试样不同时间的含水量,应按下式计算;

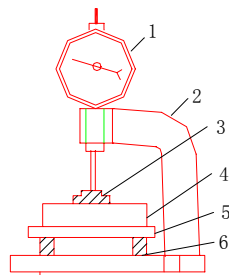


图 21.0.2 收缩仪  
1—量表 2—支架 3—测板  
4—试样 5—多孔板 6—垫块

不紧密时,应采用风干脱环法)置于多孔板上,称试样和多孔板的质量,精确至 0.1g。装好百分表,记下初读数。

二、在室温不得高于 30℃条件下进行收缩试验。根据试样温度及收缩速度,每隔 1~4h 测记百分表读数,并称整套装置和试样质量,精确至 0.1g。两天后,每隔 6~24h 测记百分读数并称质量,至两次百分表读数基本不变。称质量时应保持

$$\omega_i = \left( \frac{m_i}{m_d} - 1 \right) \times 100 \tag{21.0.4}$$

式中  $\omega_i$ ——某时刻试样的含水量 (%)；  
 $m_i$ ——某时刻试样的质量 (g)。

第 21.0.5 条 线缩率应按下式计算：

$$\delta_{si} = \frac{Z_1 - Z_0}{h_0} \times 100 \tag{21.0.5}$$

式中  $\delta_{si}$ ——试样在某时刻的线缩率 (%)；  
 $Z_1$ ——某时刻的百分表读数 (mm)。

第 21.0.6 条 体缩率应按下式计算：

$$\delta_v = \frac{V_0 - V_d}{V_0} \times 100 \tag{21.0.6}$$

式中  $\delta_v$ ——体缩率 (%)；  
 $V_d$ ——试样烘干后的体积 (cm³)。

第 21.0.7 条 土的缩限应按下列作图法确定：

以线缩率为纵坐标，含水量为横坐标，绘制关系曲线（图 21.0.7）延长第 I、III 阶段的直线段至相交，交点的横坐标  $\omega_s$  即为原状土的缩限。

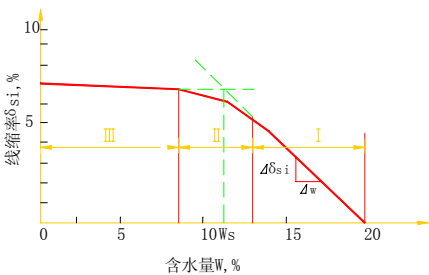


图 21.0.7 线缩率与含水量关系曲线  
注：土的缩限也可按本标准第 7.4.4 条公式计算。

**第 21.0.8 条** 收缩系数应按下列公式计算：

$$\lambda_s = \frac{\Delta \delta_{si}}{\Delta \omega} \quad (21.0.8)$$

式中  $\lambda_s$ ——竖向收缩系数；

$\Delta \omega$ ——收缩曲线上第 I 阶段两点的含水量之差（%）；

$\Delta \delta_{si}$ ——与  $\Delta \omega$  相对应的两点线缩率之差（%）。

**第 21.0.9 条** 收缩试验的记录，应包括工程编号、试样编号、试验前试样质量，不同时间的试样质量和收缩变形以及烘干试样的质量和体积。

## 第二十二章 酸碱度试验

**第 22.0.1 条** 本试验方法适用于各类土。宜用电测法。

**第 22.0.2 条** 酸碱度试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

- 一、酸度计: 应附玻璃电极、甘汞电极和复合电极。
- 二、电动振荡器。
- 三、天平: 称量 200g, 感量 0.01g。

**第 22.0.3 条** 酸碱度试验所用的主要试剂, 应符合下列规定:

一、标准缓冲溶液  $\text{PH}=4.01$ : 用经  $105\sim 110^{\circ}\text{C}$  烘干的邻苯二甲酸氢钾 ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_6$ ) 10.21g 溶于纯水中, 移至 1000ml 容量瓶中定容。

二、标准缓冲溶液  $\text{PH}=6.87$ : 用经  $105\sim 110^{\circ}\text{C}$  烘干的磷酸氢二钠 ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) 2.53g 和磷酸二氢钾 ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 3.39g 溶于纯水中, 移至 1000ml 容量瓶中定容。

三、标准缓冲溶液  $\text{PH}=9.18$ , 将硼砂 ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) 3.80g 溶于已除去  $\text{CO}_2$  的纯水中, 移至 1000ml 容量瓶中定容。贮于密闭的塑料瓶中 (宜保存使用 2 个月)。

四、饱和氯化钾 ( $\text{KCl}$ ) 溶液: 向少量纯水中加入氯化钾, 边加边搅拌, 直至不继续溶解为止。

注: 本标准第二十二章至第二十六章中使用的化学试剂除注明外, 均为分析纯化学试剂。

**第 22.0.4 条** 酸碱度试验, 应按下列步骤进行:

一、酸度计校正: 在测定试样前按仪器使用说明书校正酸度计。

二、土悬液的制备：取通过 2mm 筛的风干土样 10g，放入广口瓶，加纯水 50ml（土水比为 1 : 5），振荡 3min，静止 30min。

三、土悬液 PH 值测定：将少许土悬液盛于小烧杯中，将酸度计上的玻璃电极和甘汞电极（或复合电极）插入杯中，轻轻摇动烧杯，使土悬液均匀接触电极 2~3min。按仪器说明书测定 PH 值，准确至 0.01PH。测记土悬液温度，进行温度补偿操作。

四、测量完毕，关闭电源，用纯水洗净电极，并用滤纸吸干电极或将电极浸泡在纯水中。

**第 22.0.5 条** 酸碱度试验的记录，应包括试样编号、悬液温度和 PH 值。

## 第二十三章 易溶盐试验

### 第一节 浸出液制取

**第 23.1.1 条** 本试验方法适用于各类土。

**第 23.1.2 条** 浸出液制取所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

- 一、过滤设备:包括真空泵、平底瓷漏斗、抽滤瓶。
- 二、离心机:转速为 1000 转/min。
- 三、天平:称量 200g,感量 0.01g。

**第 25.1.3 条** 浸出液的制取,应按下列步骤进行:

一、称取 2mm 筛下风干试样 50~100g (视土中含盐量和分析项目而定),精确至 0.01g。置于广口瓶,按土水比例 1:5 加入纯水,振荡 3min,抽气过滤,另取试样 3~5g 测定含水量。

二、将滤纸用纯水浸湿后贴在漏斗底部,漏斗装在抽滤瓶上,联通真空泵抽气,使滤纸与漏斗贴紧,将振荡后的土悬液摇匀,倾入漏斗中抽气过滤,过滤时漏斗应用表面皿盖好。

三、当发现滤液混浊时,需重新过滤。经反复过滤仍然混浊;应用离心机分离。所得的透明滤液,即为土的浸出液,贮于细口瓶中供分析用。

### 第二节 易溶盐总量测定

**第 23.2.1 条** 本试验方法适用于各类土。

**第 23.2.2 条** 易溶盐总量测定试验所用的主要仪器,应符合下列规定:

- 一、分析天平:称量 200g,感量 0.0001g,
- 二、水浴锅、蒸发皿。

三、15%双氧水（化学纯），2%Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液。

**第 23.2.3 条** 易液盐总量测定试验，应按下列步骤进行。

一、用移液管吸取浸出液 50~100ml 注入蒸发皿中，盖上表面皿，放在水浴锅上蒸干。当蒸干残渣中呈现黄褐色时，应加入 15%双氧水 1~2ml，继续在水浴锅上蒸干，反复处理至黄褐色消失。

二、将蒸发皿放入烘箱，在 105~110℃下烘 4~8h，取出后放入干燥器中冷却，称蒸发皿加试样的总质量，再烘 2~4h，冷却后再称蒸发皿加试样的总质量。反复进行至两次质量差值不大于 0.0001g。

**第 23.2.4 条** 易溶盐总量应按下列式计算，精确至 0.01%。

$$W = \frac{(m_2 - m_1) \frac{V_w}{V_{w1}} (1 + \omega_0)}{m_0} \times 100 \quad (23.2.4)$$

式中 W——易溶盐总量（%）；

m<sub>2</sub>——蒸发皿加烘干试样质量（g）；

m<sub>1</sub>——蒸发皿质量（g）；

V<sub>w</sub>——浸出液加纯水量（ml）；

V<sub>w1</sub>——吸取浸出液量（ml）。

**第 23.2.4 条** 易溶盐总量测定试验的记录，应包括试样编号、风干土含水量、烘干试样质量、土水比，吸取浸出液量。

### 第三节 碳酸根及重碳酸根的测定

**第 23.3.1 条** 本试验方法适用于各类土。

**第 23.3.2 条** 碳酸根及重碳酸根的测定试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、酸式滴定管：刻度为 0.1ml。

二、分析天平：称量 200g，感量 0.0001g。

三、0.1%甲基橙指示剂：称 0.1 甲基橙溶于 100ml 纯水

中。

四、0.5%酚酞指示剂：称0.5g酚酞溶于50ml95%的酒精中，用纯水稀释至100ml。

五、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液：将3ml的分析纯浓硫酸加入1000ml纯水，然后稀释至5000ml。

第23.3.3条 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液的标定，应按下列步骤进行：

取在160~180℃下烘2~4h的无水Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>三份，每份0.1精确至0.0001g。放入三个锥形瓶中，注入20~30ml纯水，加入0.1%甲基橙指示剂2滴，用配制好的H<sub>2</sub>SO标准溶液滴定至溶液由黄色变为橙色为止。记下H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液用量。

第23.3.4条 H<sub>2</sub>SO标准溶液的浓度应按下列式计算，精确至0.0001mol/l，取三个结果的算术平均值作为H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液的浓度。

$$C_{HS} = \frac{n_{NC}}{V_{HS} \cdot mM_{NC}} \quad (23.3.4)$$

式中  $C_{HS}$ ——H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液的浓度 (mol/l)；

$V_{HS}$ ——H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液的用量 (ml)；

$n_{NC}$ ——Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>的用量 (g)；

$mM_{NC}$ ——Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>的毫摩尔质量 (g)。

注：H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液也可用标定过的NaOH标准溶液标定。

第23.3.5条 碳酸根及重碳酸根的测定试验，应按下列步骤进行：

一、用移液管吸取土浸出液25ml，注入锥形瓶中，加0.5%酚酞指示剂2~3滴，如试液不显红色，表示无CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>存在，当试液显红色时，用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液滴定至淡红色为止，记下H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液的用量，精确至0.01ml。

二、在试液中加入0.1%甲基橙指示剂1~2滴，继续用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准溶液滴定至试液由黄色变为橙色为止，记下H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>标准

溶液用量，精确至 0.01ml。

三、滴定后的试液，可作测定  $\text{Cl}^-$  用。

第 23.3.6 条 碳酸根的含量，应按下式计算：

$$\text{CO}_3^{2-} = \text{CO}_3^{2-} \text{ mmol/100g } \pm \left( = 100 \times \frac{2 \cdot V_{H_{S1}} \cdot C_{H_S} \cdot \frac{VW}{25}}{m_d} \right) \times 0.060 \quad (23.3.6)$$

式中  $\text{CO}_3^{2-}$ ——碳酸根的含量 (%)；

$\text{CO}_3^{2-} \text{ mmol/100g 土}$ ——100g 土中碳酸根的毫摩尔数；

$V_{H_{S1}}$ ——第一次滴定时  $\text{H}_2\text{SO}_4$  标准溶液用量 (ml)；

25——试验时吸取土浸出液量 (ml)；

$C_{H_S}$ —— $\text{H}_2\text{SO}_4$  标准溶液的浓度 (mol/l)；

$m_d$ ——烘干土质量 (g)；

0.060—— $\text{CO}_3^{2-} \text{ mol/1000}$ 。

第 23.3.7 条 重碳酸根的含量，应按下式计算，精确至 0.001%。

$$\text{HCO}_3^- = \text{HCO}_3^- \text{ mmol/100g } \pm \left( \frac{(V_{SH2} - V_{SH1}) C_{H_S} \cdot \frac{VW}{25} \times 2}{m_d} \times 100 \right) \times 0.061 \quad (23.3.7)$$

式中  $\text{HCO}_3^-$ ——重碳酸根的含量 (%)；

$\text{HCO}_3^- \text{ mmol/100g 土}$ ——100g 土中重碳酸根的毫摩尔数；

$V_{H_S}$ ——第二次滴定时的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  标准溶液用量 (ml)；

0.061—— $\text{HCO}_3^- \text{ mol/1000}$ ；

2——1mol/l  $\text{H}_2\text{SO}_4$  可与 2mol  $\text{HCO}_3^-$  反应。

**第23.3.8条** 碳酸根及重碳酸根的测定试验记录，应包括试样编号、试验方法，烘干试样质量、土水比、吸取浸出液量， $\text{H}_2\text{SO}_4$ 标准溶液的浓度及第一次、第二次用量。

#### 第四节 氯根的测定

**第23.4.1条** 本试验方法适用各类土。

**第23.4.2条** 氯根的测定试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

一、酸式滴定管、试剂瓶、细口瓶均为棕色。

二、分析天平：称量200g，感量0.001g。

三、5%铬酸钾 ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) 指示剂：取5g 铬酸钾溶于纯水中，还滴加入  $\text{AgNO}_3$ 标准溶液至略有砖红色沉淀为止。放置一夜后过滤，将滤液稀释至100ml。

四、0.02mol/l 重碳酸钠 ( $\text{NaHCO}_3$ ) 溶液：称取  $\text{NaHCO}_3$ 1.7g，溶于纯水中，稀释至1000ml。

五、0.02mol/l 硝酸根标准溶液：准确取经105~110℃烘干30min 的分析纯  $\text{AgNO}_3$ 3.3974g，用纯水溶解，倒入容量瓶，用纯水稀释至100ml 定容。贮于棕色细口瓶中。

**第23.4.3条** 氯根的测定试验，应按下列步骤进行：

一、取25ml 土浸出液，加入甲基橙指示剂，逐滴加入0.02mol/ $\text{NaHCO}_3$ 溶液至试液变为纯黄色，酸碱度控制为7。再加入5%  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 指示剂5~6滴，用  $\text{AgNO}_3$ 标准溶液滴定，直至生成砖红色沉淀，记下  $\text{AgNO}_3$ 标准溶液用量。

二、用移液管吸取25ml 纯水，按本条之一款进行空白试验，记下  $\text{AgNO}_3$ 标准溶液用量。

**第23.4.4条** 氯根的含量，应按下式计算，计算至0.001%。

$$\text{Cl}^- = \text{Cl}^- \text{mmol}/100\text{g} \pm \left( = \frac{C_{\text{AN}} (V_{\text{AN1}} - V_{\text{AN2}}) \cdot \frac{V_w}{25}}{md} \times 100 \right)$$



式中  $\text{Cl}^-$ ——氯根的含量 (%)；  
 $\text{Cl}^- \text{mmol}/100\text{g}$  土——每100g 土中氯根的毫摩尔数；  
 $V_{\text{AN}1}$ ——滴定试样时  $\text{AgNO}_3$ 标准溶液用量 (ml)；  
 $V_{\text{AN}2}$ ——空白试验中  $\text{AgNO}_3$ 标准溶液用量 (ml)；  
 $C_{\text{AN}}$ —— $\text{AgNO}_3$ 标准溶液浓度 (mol/l)。

23. 4. 5条 氯根的测定试验记录，应包括试样编号、试验方法、烘干土质量、土水比、吸取试液量及 $\text{AgNO}_3$ 标准溶液的用量。

第五节 硫酸根的测定

第23. 5. 1条 本试验方法适用于各类土。

第23. 5. 2条 硫酸根的测定试验，应采用下列方法：

- 一、EDTA 络合  $\text{SO}_4^{2-}$ 滴定法适用于常量分析。
- 二、比浊法适用于  $\text{SO}_4^{2-}$ 含量小于50mg/l。

第23. 5. 3条 硫酸根含量估测所用的试剂，应符合下列规定：

- 一、5%氯化钡 ( $\text{BaCl}_2$ ) 溶液：将5g $\text{BaCl}_2$ 溶于95ml 纯水。
- 二、1:1盐酸：将浓盐酸与同体积纯水混匀。

第23. 5. 4条  $\text{SO}_4^{2-}$ 含量的估测，应按下列步骤进行：

$\text{SO}_4^{2-}$ 测定方法选择与试剂用量表 表23. 5. 4

| 加氯化钡后溶液混浊情况 | $\text{SO}_4^{2-}$ 含量 (mg/l) | 测定方法   | 吸取土浸出液体积(ml) | 钡镁合剂用量(ml) |
|-------------|------------------------------|--------|--------------|------------|
| 数分钟后微混浊     | <10                          | 比浊法    | —            | —          |
| 立即呈微混浊      | 25~50                        | 比浊法    | —            | —          |
| 立即混浊        | 50~100                       | EDTA 法 | 25           | 4~5        |
| 立即沉淀        | 100~200                      | EDTA 法 | 25           | 8          |
| 立即大量沉淀      | >200                         | EDTA 法 | 10           | 10—12      |

一、取土浸出液5ml注入试管，加入1:1盐酸2滴，5%BaCl<sub>2</sub>溶液5滴摇匀。按溶液混浊程度查表23.5.4，估测SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量。当含量大于、等于50mg/l时，用EDTA络合滴定法；当含量小于50mg/l时用比浊法。

二、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量估测时，吸取土浸出液体积和钡镁合剂，用量查表23.5.4。

**第23.5.5条** EDTA络合滴定法所用的主要仪器设备，应与本标准第23.3.2条之一至二款相同。

**第23.5.6条** EDAT络合滴定法所用的试剂，应符合下列规定：

一、1:4盐酸溶液：将分析纯浓盐酸10ml与40ml纯水混匀。

二、钡镁混合剂：将1.22gBaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O和1.02gMgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O溶于纯水中，稀释至500ml，溶液中Ba<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>离子浓度为0.01mol/l，每毫升宜沉淀1mgSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。

三、氨缓冲溶液（酸碱度为10）：将70gNH<sub>4</sub>Cl溶于纯水中，加入新开瓶的分析纯浓氨水570ml稀释至1000ml。本试剂应新鲜配制。

四、铬黑T指示剂：将0.5C铬黑T和100g烘干NaCl混合，磨细拌匀，贮于棕色瓶中，并放入干燥器中。

五、酒精：浓度为95%。

六、锌（Zn<sup>2+</sup>）标准溶液：精确称取经烘干的分析纯锌粒（粉）0.6538g，放入烧杯中，分次加入少量的1:1盐酸溶液，待完全溶解（可稍加热，但勿使溅失）后，倒入1000ml容量瓶中定容。此溶液浓度为0.0100mol/l。

七、0.01mol/lEDTA标准溶液：称取乙二胺四乙酸二钠3.72g溶于热纯水中，冷却后稀释至1000ml。

**第23.5.7条** 0.01mol/lEDTA标准溶液的标定，应按下列步骤进行：

用移液管吸取3份20ml0.0100mol/l锌标准溶液，分别注入3

个锥形瓶中，加纯水至50ml，加氨缓冲溶液10ml，铬黑 T 指示剂少许，95%的酒精5ml，用 EDTA 标准溶液滴定，使溶液由红色变为亮兰色为止，记下用量。

**第23.5.8条** EDTA 标准溶液的浓度，应按下式计算，计算至0.0001mol/l，取三个标定值的算术平均值。

$$C_{\text{EDTA}} = \frac{V_{\text{zn}} \cdot C_{\text{zn}}}{V_{\text{EDTA}}} \quad (23.5.8)$$

式中  $C_{\text{EDTA}}$ ——EDTA 标准溶液的浓度 (mol/l)；

$V_{\text{EDTA}}$ ——EDTA 标准溶液的用量 (ml)；

$C_{\text{zn}}$ ——锌标准溶液的浓度 (mol/l)；

$V_{\text{zn}}$ ——锌标准溶液用量 (ml)。

**第23.5.9条** EDTA 络合滴定法硫酸根测定试验，应按下列步骤进行：

一、按本标准表23.5.4的规定，用移液管吸取土浸出液注入锥形瓶，稀释成25ml，加入1:4的盐酸溶液8滴，并煮沸除去  $\text{CO}_2$ 。用滴定管缓慢注入钡镁合剂，边加边摇动。再煮沸5min，冷却后静置2h。加入氨缓冲溶液10ml 摇匀，再加入铬黑 T 指示剂少许和95%的酒精5ml、摇匀，用 EDTA 标准溶液滴定试液，当试液呈紫色时，摇动0.5~1min，继续滴定至试液变为亮兰色为止，记下 EDTA 标准溶液用量，精确至0.01ml。

二、另取锥形瓶进行空白试验。用移液管吸取25ml 纯水注入锥形瓶，加入1:4盐酸溶液8滴，注入10ml 钡镁合剂、10ml 氨缓冲溶液、少许铬黑 T 指示剂和95%酒精5ml，摇匀，再用 EDTA 标准溶液滴定至空白试液由红色变为亮兰色为止。记下 EDTA 标准溶液用量。

**第23.5.10条** 钡镁合剂浓度，应按下式计算，精确至0.0001mol/l。

$$C_{\text{BM}} = \frac{V_{\text{EDTA}} \cdot C_{\text{EDTA}}}{10} \quad (23.5.10)$$

式中  $C_{BM}$ ——钡镁混合液浓度 (mol/l);  
 $V_{EDTA}$ ——滴定时 EDTA 标准溶液用量 (ml);  
 $C_{EDTA}$ ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/l)。

第23.5.11条  $SO_4^{2-}$  的含量,应按下式计算,精确至0.001%。

$$SO_4^{2-} = SO_4^{2-} \text{ mmol/100g} \pm$$

$$\left[ \frac{[C_{BM} \cdot V_{BM} - (V_{EDTA} - V_{EDTA}^1) \cdot C_{EDTA}] \cdot \frac{V_w}{V_{ol}}}{md} \times 100 \right] \times 0.096 \quad (23.5.11)$$

式中  $V_{BM}$ ——加入钡镁合剂量 (ml);  
 $V_{EDTA}^1$ ——在测定  $SO_4^{2-}$  含量时,消耗于  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  的标准溶液的滴定量 (见第七节) (ml);  
 0.096—— $SO_4^{2-}$  mol/1000。

第23.5.12条 比浊法所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

- 一、磁力搅拌器;
- 二、光电比色计或分光光度计;
- 三、量匙容量为0.2~0.3cm<sup>3</sup>。

第23.5.13条 比浊法所用的主要试剂,应符合下列规定:

一、悬浊液稳定剂:将浓盐酸30ml,95%的酒精100ml,纯水300ml,NaCl25g混匀的溶液与50ml甘油混匀。

二、结晶 BaCl<sub>2</sub>:将 BaCl<sub>2</sub>结晶过筛取粒径在0.6~0.85mm之间的结晶备用。

三、 $SO_4^{2-}$  标准溶液:称取 105~110℃烘干的无水 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>0.1479克,溶于纯水中,倒入1000ml容量瓶中定容。此溶液中  $SO_4$  含量为0.1mg/ml。

第23.5.14条 标准曲线的测绘,应按下列步骤进行:

用移液管分别吸取  $SO_4^{2-}$  标准溶液5、10、20、30、40ml 倒入100ml 容量瓶中定容,制成  $SO_4^{2-}$  含量为0.5、1.0、2.0、3.0、

4. 0mg/100ml 的标准系列注入烧杯中,加入悬浊液5. 00ml 和一量匙 BaCl<sub>2</sub>结晶,用磁力搅拌器搅拌1min,将悬浊液在光电比色计中用紫色滤光片进行比浊,每隔30s 测读一次悬浊液的吸收值。再以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>为纵坐标,吸收值为横坐标,在直角坐标上绘制关系曲线。该曲线称为标准曲线,并注明试验温度。

**第23. 5. 15条** 比浊法测定硫酸根含量试验,应按下列步骤进行:

用移液管吸取土浸出液100ml 注入烧杯中,当 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量大于 4mg 时应减少土浸出液用量并稀释至100ml,加入悬浊液5. 00ml 和1量匙 BaCl<sub>2</sub>结晶。用磁力搅拌器搅拌1min,将悬浊液在光电比色计中用紫色滤光片进行比浊,在3min 内每隔30s 测读一次悬浊液的吸收值(以同一土浸出液为空白溶液),取稳定后的读数查标准曲线,试验数据应注明温度。

**第23. 5. 16条** SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量,应按下式计算。精确至0. 001%。

$$SO_4^{2-} = \frac{W_{SO_4^{2-}} \times 0.001 \frac{V_w}{100}}{md} \times 100 \quad (23. 5. 16)$$

式中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>——硫酸根的含量 (%);

W<sub>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></sub>——由标准曲线查得的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量 (mg);

0. 001——将毫克换算为克的系数。

**第23. 5. 17条** 每100g 土中所含 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的毫摩尔数,应按下式计算,精确至0. 01mmol/100g 土。

$$SO_4^{2-} \text{ mmol/100g 土} = SO_4^{2-} \times \frac{1}{0.096} \quad (23. 5. 17)$$

式中 1/0. 096——由质量百分率换算为 mmol/100g 土的系数。

**第23. 5. 18条** 硫酸根的测定试验记录,应包括试样编号、试验方法、烘干试样质量、土水比、吸取试液量,钡镁合剂浓度及 EDTA 标准溶液的浓度和用量。

## 第六节 钙离子的测定

**第23.6.1条** 本试验方法适用于各类土。

**第23.6.2条** 钙离子测定试验所用的试剂，应符合下列规定：

一、刚果红试纸。

二、钙指示剂：将0.5g 钙指示剂与50gNaCl（需经烘焙）研细混匀，贮于棕色瓶中，放在干燥器中保存。

三、2mol/lNaOH 溶液：称取8gNaOH 溶于100ml 去CO<sub>2</sub>的纯水中。

**第23.6.3条** 钙离子的测定试验，应按下列步骤进行：

一、用移液管吸取土浸出液25ml，注入锥形瓶中，放入刚果红试纸一小片。滴入1:4盐酸溶液，使试纸变兰色，煮沸除去CO<sub>2</sub>，当土浸出液中CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>和HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量很少，可省去此步骤。

二、冷却后，加入2mol/lNaOH2ml（酸碱度控制在12），摇匀放置1~2min 用Mg<sup>2+</sup>完全沉淀。加入钙指示剂少许，95%酒精5ml，用EDTA 标准溶液滴定试液至试液由红色变浅兰色为止。记下EDTA 标准溶液的用量，精确至0.01ml。

**第23.6.4条** 钙离子的含量，应按下式计算，精确至0.001%。

$$Ca^{2+} = Ca^{2+} \text{mmol}/100g \pm \left( = \frac{C_{EDTA} \cdot V_{EDTA} \cdot \frac{V_w}{25} \times 2}{m_d} \times 100 \right) \times 0.040 \quad (23.6.4)$$

式中 Ca<sup>2+</sup>——钙离子的含量（%）；

Ca<sup>2+</sup>mmol/100g 土——每100g 土中所含Ca<sup>2+</sup>的毫摩尔数；

0.040——Ca<sup>2+</sup>mol/1000。

**第23.6.5条** 钙离子的测定试验记录，应包括试样编号、试验方法、烘干试验质量、土水比、吸取试液量，EDTA 标准溶液的浓度和用量。

## 第七节 镁离子的测定

**第23.7.1条** 本试验方法适用于各类土。

**第23.7.2条** 镁离子的测定试验所用的主要仪器设备及试剂，应与本标准第23.5.5和第23.5.6条相同。

**第23.7.3条** 镁离子的测定，应按下列步骤进行：

用移液管吸取土浸出液25ml，注入锥形瓶中，加入氨缓冲溶液5ml，摇匀，加铬黑T指示剂少许，95%酒精5ml，充分摇匀，再用EDTA标准溶液滴定试液至亮兰色为止，记下EDTA标准溶液用量，精确至0.01ml。

**第23.7.4条** 镁离子的含量，应按下式计算，精确至0.001%。

$$Mg^{2+} = Mg^{2+}m \text{ mol}/100g \text{ 土}$$

$$\left[ \frac{C_{EDTA} (V_{EDTA} - V''_{EDTA}) \cdot \frac{V_w}{25} \times 100}{m_d} \right] \times 0.0243$$

(23.7.4)

式中  $Mg^{2+}$ ——镁离子的含量 (%)；

$Mg^{2+}m \text{ mol}/100g \text{ 土}$ ——每100g土中所含  $Mg^{2+}$  的毫摩尔数；

$V''_{EDTA}$ ——滴定等量试液  $Ca^{2+}$  时的EDTA标准溶液用量 (ml)；

0.0243—— $Mg^{2+}$  mol/1000。

**第23.7.5条** 镁离子的测定试验记录，应与本标准第23.6.5条相同。

## 第八节 钙离子和镁离子的原子吸收分光光度法测定

**第23.8.1条** 本试验方法适用于各类土。

**第23.8.2条** 钙离子和镁离子的原子吸收分光光度法测定试

验所用的主要仪器设备，应采用原子吸收——火焰分光光度计。

**第23.8.3条** 钙离子和镁离子的原子吸收分光光度法测定试验所用的试剂，应符合下列规定：

一、钙离子标准溶液：称取经105~110℃烘干的纯碳酸钙0.2479g 溶解于少量盐酸中，然后定容至1000ml，此为1000ppm 标准溶液，贮于塑料瓶中作为母液。

二、镁离子标准溶液：称取光谱纯的金属镁0.1000g 溶于稀盐酸中，然后定容至1000ml，此为100PPm 镁标准溶液，贮于塑料瓶中作为母液。

三、钙镁混合标准系列：用上述两种母液配制成含钙0~2.0PPm，含镁0~1.0PPm 的混合标准系列，其中应含有与待测试液相同浓度的氯化镧。

四、5%镧(La<sup>3+</sup>)溶液：将光谱纯的氯化镧(LaCl<sub>3</sub>·7H<sub>2</sub>O)13.4g 溶于100ml 纯水中。

**第23.8.4条** 标准曲线的测绘，应按下列步骤进行：

分别吸取浓度适宜的钙镁混合标准系列，按测定试样相同条件，在原子吸收分光光度计上，测出各浓度的吸收值，以吸收值为纵坐标，钙、镁标准系列溶液浓度为横坐标，绘制标准曲线并注明工作条件。

**第23.8.5条** 钙离子和镁离子的原子吸收分光光度法测定试验，应按下列步骤进行：

一、用移液管吸取一定量的土浸出液（钙浓度<2PPm，镁浓度<1PPm）注入50ml 容量瓶中，加入5%镧溶液5ml 定容。

二、在选定工作条件的原子吸收分光光度计上，分别在422.7nm 和285.2nm 波长处测其吸收值，记下读数，注明工作条件。分别查钙、镁标准曲线并计算它们的含量。

**第23.8.6条** 钙离子的含量，应按下式计算，精确至0.001%、

$$Ca^{2+} = C_{Ca} \cdot \frac{50}{V_w} \cdot n_G \cdot 10^{-4} \quad (23.8.6)$$

式中  $\text{Ca}^{2+}$ ——钙离子的含量 (%)；

$C_{\text{Ca}}$ ——由标准曲线查得的  $\text{Ca}^{2+}$  浓度 (PPm)；

50——待测液定容体积 (ml)；

$n_G$ ——土水比；

$10^{-4}$ ——将 PPm 换测成 % 的系数。

**第23.8.7条** 每100g 土中所含钙离子的毫摩尔数，应按下式计算，精确至0.01mmol/100g 土。

$$\text{Ca}^{2+} \text{ m mol/100g 土} = \text{Ca}^{2+} \cdot \frac{1}{0.040} \quad (23.8.7)$$

式中  $1/0.040$ ——钙离子的质量百分率换算为 m mol/100g 土的系数。

**第23.8.8条** 镁离子的含量，应按下式计算，精确至0.001%。

$$\text{Mg}^{2+} = C_{\text{Mg}} \cdot \frac{50}{V_w} \cdot n_G \cdot 10 \quad (23.8.8)$$

式中  $\text{Mg}^{2+}$ ——镁离子的含量 (%)；

$C_{\text{Mg}}$ ——由标准曲线查得的  $\text{Mg}^{2+}$  浓度 (PPm)。

**第23.8.9条** 每100g 土中所含镁离子的毫摩尔数，应按下式计算，精确至0.01m mol/100g。

$$\text{Mg}^{2+} \text{ m mol/100g 土} = \text{Mg}^{2+} \cdot \frac{1}{0.0243} \quad (23.8.9)$$

式中  $1/0.0243$ ——镁离子的质量百分率换算为 m mol/100g 土的系数。

**第23.8.10条** 钙离子和镁离子的原子吸收分光光度法测定试验的记录，应包括试样编号、试验方法、吸取土浸出液的体积、土水比和原子吸收分光光度计的吸光值。

## 第九节 钠离子和钾离子的测定

**第23.9.1条** 本试验方法适用于各类土。规定采用仪器分析法。

**第23.9.2条** 仪器分析法测定钠离子和钾离子试验所用的试剂，应符合下列规定：

一、钠 ( $\text{Na}^+$ ) 标准溶液：精确称取经 $550^\circ\text{C}$ 灼烧过的  $\text{NaCl}$  0.2542g，在少量纯水中溶解，移至1000ml 容量瓶定容。贮于塑料瓶中。此溶液中  $\text{Na}^+$  0.1mg/ml，以此为母液可稀释配制成所需浓度的标准系列。

二、钾 ( $\text{K}^+$ ) 标准溶液：精确称取经 $105\sim 110^\circ\text{C}$ 烘干的分析纯  $\text{KCl}$  0.1907g，在少量纯水中溶解，倒入1000ml 容量瓶中定容。贮于塑料瓶中，此溶液含  $\text{K}^+$  0.1mg/ml，以此为母液可稀释配制所需浓度的标准系列。

**第23.9.3条** 仪器分析法标准曲线的测绘，按下列步骤进行：

分别取浓度适宜的钠、钾溶液标准系列，按测定试样相同条件，在火焰光度计上测出各浓度的读数，宜测5~7点。以读数为纵坐标，钠、钾浓度为横坐标，在直角坐标上绘制关系曲线，并注明试验条件。

**第23.9.4条** 仪器分析法测定钠离子和钾离子试验，应按下列步骤进行：

用移液管吸取一定量的土浸出液，放在火焰光度计上，按仪器说明书进行操作。当 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 含量超过仪器容许范围时，宜稀释后再操作。测 $\text{Na}^+$ 时用钠滤光片，测 $\text{K}^+$ 时用钾滤光片。记下仪器读数，注明试验条件。分别查钠、钾标准曲线，分别计算含量。当用原子吸收——火焰分光光度计时，用发射挡。

**第23.9.5条** 钠离子的含量，应按下式计算，精确至0.001%。

$$\text{Na}^+ = \frac{W_{\text{Na}} \cdot 0.001 n_c \cdot V_w}{m_d} \times 100 \quad (23.9.5)$$

式中 $\text{Na}^+$ ——钠离子的含量 (%)；

$W_{\text{Na}}$ ——由标准曲线查得的 $\text{Na}^+$ 含量 (mg/ml)；

$n_c$ ——土浸出液的稀释倍数，当直接取土浸出液比色时， $n_c=1$ 。

**第23.9.6条** 每100g 土中所含钠离子的毫摩尔数，应按下列式计算，精确至0.01mmol/100g。

$$Na^{2+} \text{ mmol/100g 土} = Na \cdot \frac{1}{0.023} \quad (23.9.6)$$

式中  $1/0.023$ ——钠质量百分率换算成毫摩尔质量的系数。

**第23.9.7条** 钾离子含量应按下列式计算，精确至0.001%。

$$K^+ = \frac{W_K \cdot 0.001 \cdot n_c \cdot V_e}{m_d} \times 100 \quad (23.9.7)$$

式中  $K^+$ ——钾离子的含量（%）；

$W_K$ ——由标准曲线查得的  $K^+$  含量（mg/ml）。

**第23.9.8条** 每100g 土中所含钾离子的毫摩尔数，应按下列式计算，精确至0.01mmol/100g。

$$K^+ \text{ mmol/100g 土} = K^+ \cdot \frac{1}{0.039} \quad (23.9.8)$$

式中  $1/0.039$ —— $K^+$  质量百分率换算成毫摩尔质量的系数。

**第23.9.9条** 仪器分析法测定钠离子和钾离子的试验记录，应包括试样编号、试验方法、烘干试样质量、土水比和吸取浸出液量。

## 第二十四章 中溶盐石膏试验

**第24.0.1条** 本试验方法适用于含石膏较多的土类。规定采用酸浸——质量法。

**第24.0.2条** 中溶盐试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

分析天平：称量200g，感量0.0001g。

**第24.0.3条** 中溶盐试验所用的试剂，应符合下列规定：

一、0.25mol/lHCl 溶液：将浓盐酸20.8ml 稀释至1000ml。

二、10%NH<sub>4</sub>OH：将浓氨水31ml 稀释成100ml。

三、10%BaCl 溶液：将10g 氯化钡溶于少量纯水中，稀释至100ml。

四、酸化 AgNO<sub>3</sub>溶液：将0.5g 硝酸银溶于50ml 纯水中，加入少量浓硝酸酸化，贮于棕色瓶中。

五、0.1%甲基橙指示剂和1:1盐酸溶液。

**第24.0.4条** 中溶盐试验，应按下列步骤进行：

一、试样中石膏的浸提液：

1. 称取过0.5mm 筛的风干试样1~5g，精确至0.0001g。放入200ml 烧杯中，缓慢加入0.25mol/lHCl 溶液50ml。边加边搅拌。当土中含碳酸钙时，应加盐酸至无气泡产生为止，放置过夜。

2. 第二天过滤，并用0.25mol/lHCl 溶液淋洗土样至滤液中无SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>为止。

注：SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>检验方法是，取滤液数滴加1:1HCl 溶液1滴，用10%BaCl<sub>2</sub>检验，当有SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>存在时则有白色 BaSO<sub>4</sub>沉淀，滤液产生混浊。

二、酸浸出液中硫酸根的测定

1. 经本标准第24.0.4条一款之2步骤的滤液加入2滴0.1%

甲基橙指示剂，用10%氨水中和溶液，当溶液呈黄色时，再用1:1HCl 溶液调至红色后多加10滴，加热煮沸，在搅拌时，缓慢滴入热的10%BaCl<sub>2</sub>溶液，直至试液中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>沉淀完全，并稍有过量为止。放在水浴锅上保持60℃2h。

注：当试样静置澄清后，向上部滴加 BaCl 溶液时应无混浊

2. 将 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 沉淀，用无灰滤纸过滤，用温纯水洗涤，至无 Cl<sup>-</sup> 离子为止。

注：检验方法是取滤液数滴，用酸化AgNO<sub>3</sub>溶液检验，当有Cl<sup>-</sup>存在时则呈混浊。

3. 用滤纸包好洗净的沉淀，放入经600℃灼烧至恒量的瓷坩锅中，在电炉上充分灰化，不得出现明火燃烧。移至高温炉内，在600℃下灼烧1h 取出，放于洁净的石棉网上，在干燥器中冷却至室温，称质量，再在600℃下灼烧30min，冷却后称质量，反复操作至恒量，记下质量。

三、易溶盐硫酸根的测定，应按本标准第二十三章第五节规定进行。

**第24. 0. 5条** 中溶盐石膏的含量，应按下列公式计算：

一、减去易溶盐硫酸根含量时应按下式计算，精确至0. 01%。

$$W_{\text{CSH}} = \left[ \frac{(m_{\text{FS}} - m_{\text{F}}) \times 0.4114 (1 + \omega_0)}{m_0} \times 100 - W_{\text{SO}_4^{2-}} \right] \times 1.7922 \quad (24. 0. 5-1)$$

式中  $W_{\text{CSH}}$ ——中溶盐石膏的含量 (%)；

$m_{\text{FS}}$ ——瓷坩埚与沉淀总质量 (g)；

$W_{\text{SO}_4^{2-}}$ ——易溶盐硫酸根的含量 (%)；

$m_{\text{F}}$ ——瓷坩埚质量 (g)；

0. 4114——由 BaSO<sub>4</sub>换算为硫酸根的系数；

1. 7922——由硫酸根换算为石膏的系数。

二、不减去易溶盐硫酸根含量时，应按下式计算，精确至

0.01%。

$$W_{\text{CSH}} = \frac{(m_{\text{FS}} - m_{\text{F}}) \times 0.7377 \times (1 + \omega_0)}{m_0} \times 100 \quad (24.0.5-2)$$

式中 0.7377——由硫酸钡换算为石膏的系数。

**第24.0.6条** 中溶盐石膏试验的记录，应包括试样编号、试验方法、风干试样质量及含水量，瓷坩埚编号及质量，易溶盐硫酸根含量和石膏含量。

第二十五章 难溶盐碳酸钙试验

第25.0.1条 本试验方法适用于各类土。规定采用气量法。

第25.0.2条 难溶盐碳酸钙试验所用的主要仪器设备及试剂，应符合下列规定：

一、二氧化碳约测计（图25.0.2）。

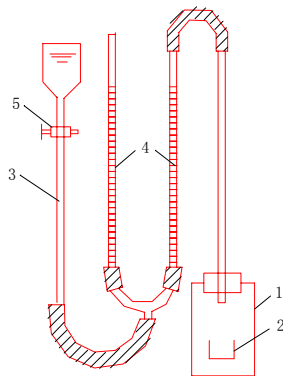


图25.0.2 二氧化碳约测计示意图

1—广口瓶 2—坩埚 3—移动管 4—管量 5—阀门

二、天平：称量200g，感量0.01g。

三、1:3盐酸溶液和0.1%甲基红指示剂。

第25.0.3条 难溶盐碳酸钙的试验，应按下列步骤进行：

一、安装好 CO<sub>2</sub>约测计（如图25.0.2），将加有微量盐酸和数滴甲基红指示剂的红色水溶液注入量管中。

二、称取过0.5mm筛,经105~110℃烘干的试样1~5g,精确

至0.01g,放入广口瓶中。再将盛有1:3HCl 溶液的瓷坩埚也放入广口瓶中,塞紧瓶口。打开阀门上下移运管(3),使三管水面齐平。

三、将管(3)继续下移,当管(4)的右肢水面下降很快时,表示接头处漏气,应仔细检查各接头并用石蜡溶液密封至不漏气。三管水面齐平后,关闭阀门,记下管(4)右肢的起始水位读数。

四、用长柄夹子夹住广口瓶颈部轻轻摇动,使瓷坩埚中盐酸倾出与瓶中试样充分反应。当管(4)右肢水面受到CO<sub>2</sub>气体压力而下降时,打开阀门。使管(4)左右肢水面应保持同一水平。静置10min,当管(4)右肢水面稳定时,再移动管(3),使三管水面齐平。记下管(4)右肢最终水位读数。最终读数与起始读数之差即为产生的CO<sub>2</sub>体积,并记下试验时温度和气压。

五、重复本条一至四款步骤进行空白试验。并从试样产生的CO<sub>2</sub>体积中减去空白试验值。

**第25.0.4条** 碳酸钙的含量,应按下式计算,精确至0.1%。

$$W_{\text{Ca}} = \frac{V_{\text{CO}_2} \cdot \rho_{\text{CO}_2} \times 2.272}{m_d \times 10^6} \times 100 \quad (25.0.4)$$

式中  $V_{\text{CO}_2}$ ——二氧化碳体积 (ml);

$\rho_{\text{CO}_2}$ ——在试验的温度和气压下CO<sub>2</sub>的密度 (μg/ml),查有关的物理手册;

2.272——由CO<sub>2</sub>换算成CaCO<sub>3</sub>的系数。

10<sup>6</sup>——微克与克的换算系数。

**第25.0.5条** 难溶盐碳酸钙测定试验的记录,应包括试样编号、工程编号、试验方法、二氧化碳体积和试验时的温度与气压。

## 第二十六章 有机质试验

**第26.0.1条** 本试验方法适用于有机含量不超过15%的土。规定采用重铬酸钾容量法。

**第26.0.2条** 有机质试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 一、分析天平：称量200g，感量0.0001g。
- 二、油浴锅：应带铁丝笼。
- 三、温度计：0~200℃，精度0.5℃。

**第26.0.3条** 有机质试验所用的试剂，应符合下列规定：

一、0.0750mol/l  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ，标准溶液：用分析天平称取经105~110℃烘干并研细的重铬酸钾44.1231g，溶于800ml纯水中（必要时可加热），缓慢加入浓硫酸1000ml，并不断搅拌，冷却后倒入2000ml容量瓶中定容。

二、0.2mol/l 硫酸亚铁（或硫酸亚铁铵）标准溶液：称取硫酸亚铁（ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ）56g（或硫酸亚铁铵80g），溶于纯水中，加3mol/l 硫酸溶液30ml，稀释至1000ml，密封贮于棕色瓶中。

三、邻啡啉指示剂：将邻啡啉1.485g 和硫酸亚铁0.695g溶于100ml纯水中，密封保存在棕色瓶中。

**第26.0.4条** 硫酸亚铁（或硫酸亚铁铵）标准溶液的标定，应按下列步骤进行：

准确取  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  标准溶液10.00ml 三份，分别注入锥形瓶中，稀释至60ml 左右，加入邻啡啉指示剂3~5滴，用硫酸亚铁标准溶液进行滴定，使溶液由黄色经绿色突变至橙红色为止。按用量计算硫酸亚铁的浓度。准确至0.0001mol/l，取三份结果的算术平均值。

**第26.0.5条** 有机质试验，应按下列步骤进行：

一、当试样中含有有机碳小于8mg时，用分析天平称取剔除植物根并通过0.15mm筛的风干试样0.1~0.5g，放入干燥的试管底部，用滴定管缓慢滴入 $K_2Cr_2O_7$ 标准溶液10.00ml，摇匀，并在试管口插入小漏斗。

二、将试管插入铁丝笼中，放入190℃左右的油浴锅内，试管内的液面低于油面。温度应控制在170~180℃，试管内试液沸腾时开始计时，煮沸5min，取出稍冷。

三、将试管内试液倒入锥形瓶中，用纯水洗净试管底部，并使试液控制在60ml，加入邻啡啉指示剂3~5滴，用硫酸亚铁标准溶液滴定，当溶液由黄色经绿色突变至橙红色时停止。记下硫酸亚铁标准溶液用量，精确至0.01ml。

四、与试样试验的同时，应按本标准第26.0.5条之一至三款，采用纯砂进行空白标定。

**第26.0.6条** 有机质含量，应按下式计算，精确至0.01%。

$$W_u = \frac{C_{FeSO_4} (V'_{FeSO_4} - V_{FeSO_4}) \times 0.003 \times 1.724 (1 + \omega_0)}{m_0} \times 100 \quad (26.0.6)$$

式中  $C_{FeSO_4}$ ——硫酸亚铁标准溶液浓度 (mol/l)；

$V_{FeSO_4}$ ——测定试样时硫酸亚铁标准溶液用量 (ml)；

$V'_{FeSO_4}$ ——空白试验时硫酸亚铁标准溶液用量 (ml)；

0.003——1/4硫酸亚铁标准溶液浓度时毫摩尔质量；

1.724——有机碳换算成有机质的系数。

**第26.0.7条** 有机质试验的记录，应包括试样编号、试验方法、风干试样质量和含水量及硫酸亚铁标准溶液浓度和用量。

第二十七章 土的离心含水当量试验

第27.0.1条 本试验方法适用于粘性土和砂性土。应在恒温下进行试验。

第27.0.2条 土的离心含水当量试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

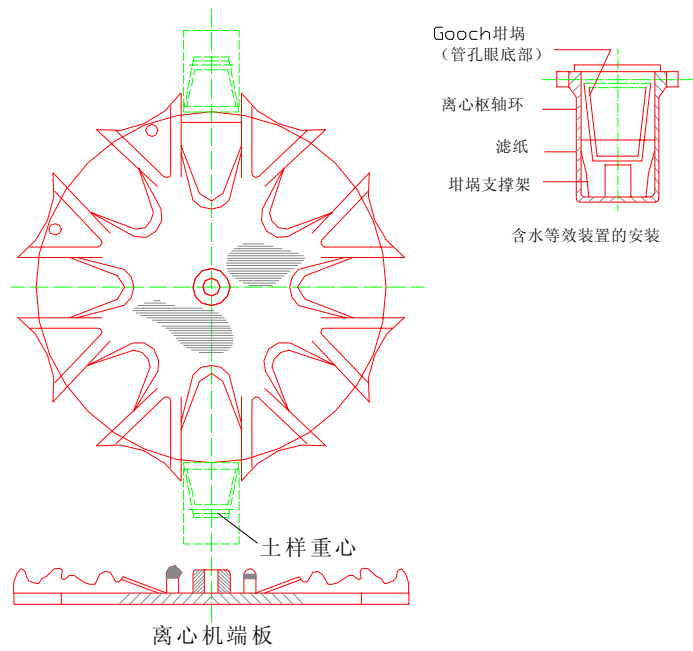


图27.0.2 离心机主零件示意图

一、离心机(图27.0.2)：能对试样重心施加相当于1000倍

重力的离心力达1h。离心机的内室温度应保持 $2\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

二、瓷坩埚，具有底孔，高度宜为40mm，顶部直径25mm，底部直径20mm。

三、套杯：带有盖子的离心枢轴杯，内装多孔锅底的瓷坩埚及相应的支架，要求套杯与坩埚支架彼此对应平衡，并成对地编号。

**第27.0.3条** 土的离心含水当量试验，应按下列步骤进行：

一、试样制备应按本标准第2.0.7条步骤进行。过0.5mm筛，搅拌均匀，称试样5g，数量不得少于两份。

二、将试样倒入底面铺湿滤纸的坩埚内。

三、将坩埚置于盛有纯水的盆内，水深应高出试样表面，静置8~10h，当试样表面出现自由水时，表示试样已饱和，再将装有试样的坩埚放入保湿缸内静置，时间应不少于12h。

四、取出坩埚，吸去试样表面的自由水，放入离心机枢轴杯中，将成对的坩埚放在离心机的对称位置上。

五、将离心机调至预定的转速，该转速应使试样重心处经受1000倍重力的离心力，旋转1h，再减少转速，离心机应在5min内停止转动。

六、试验结束，取出坩埚。称坩埚、湿土和湿滤纸的总质量。

七、将坩埚置于烘箱内，在温度 $105^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘干。称坩埚、干土和干滤纸的总质量。

注：试验后，当试样顶部出现自由水时，表示试样有积水作用。应该将水份算入湿土质量。但必须在记录中加以说明。

**第27.0.4条** 土的离心含水当量，应按下式计算，精确至0.1%。

$$\omega_{\text{cme}} = \frac{(m_a - m_d) - (m_b - m_e)}{m_b - (m_c + m_e)} \times 100 \quad (27.0.4)$$

式中  $\omega_{\text{cme}}$ ——离心含水当量（%）；

$m_a$ ——离心后坩埚、湿土和湿滤纸总质量 (g);

$m_b$ ——烘干后,干土和干滤纸总质量 (g);

$m_c$ ——坩埚质量 (g);

$m_d$ ——湿滤纸质量 (g);

$m_e$ ——干滤纸质量 (g);

**第27.0.5条** 土的离心含水当量试验成对试样所测得的两个含水当量的平行之差,应符合下列规定:

一、离心含水当量 $\leq 15\%$ 时,平行差值不大于 $\pm 1\%$ ;

二、离心含水当量 $> 15\%$ 时,平行差值不大于 $\pm 2\%$ 。

**第27.0.6条** 土的离心含水当量试验记录,应包括试样编号、试验方法、取土深度、套杯编号、坩埚编号、离心机的内室温度、离心机转速和含水量测定记录。

附录一 习用的非法定计量单位与法定  
计量单位的换算关系表

| 序<br>号 | 量的<br>名称     | 非法定计量单位      |                            | 法定计量单位                |                                  | 单位换算关系                                              |
|--------|--------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|
|        |              | 名 称          | 符 号                        | 名 称                   | 符 号                              |                                                     |
| 1      | 力, 重         | 千克力          | <i>kgf</i>                 | 牛 顿                   | <b>N</b>                         | $1kgf=9.80665N$                                     |
|        | 力            | 吨 力          | <i>tf</i>                  | 千牛顿                   | <b>KN</b>                        | $1tf=9.80665KN$                                     |
| 2      | 压力, 压强       | 千克力<br>每平方米  | <i>kgf/m<sup>2</sup></i>   | 牛 顿<br>每平方米<br>(帕斯卡)  | <b>N/M<sup>2</sup></b><br>(Pa)   | $1kgf/m^2=9.80665N/M^2(Pa)$                         |
|        |              | 吨 力<br>每平方米  | <i>tf/m<sup>2</sup></i>    | 千牛顿<br>每平方米<br>(千帕斯卡) | <b>KN/M<sup>2</sup></b><br>(KPa) | $1tf/m^2=9.80665KN/M^2(KPa)$                        |
|        |              | 标 准<br>大气压   | <i>atm</i>                 | 兆帕斯卡                  | <b>MPa</b>                       | $1atm=0.101325MPa$                                  |
|        |              | 工 程<br>大气压   | <i>at</i>                  | 兆帕斯卡                  | <b>MPa</b>                       | $1at=0.0980665MPa$                                  |
|        |              | 毫米水柱         | <i>mmH<sub>2</sub>O</i>    | 帕斯卡                   | <b>Pa</b>                        | $1mmH_2O=9.80665Pa$<br>(按水的密度为1g/cm <sup>3</sup> 计) |
|        |              | 毫米汞柱         | <i>mmHg</i>                | 帕斯卡                   | <b>Pa</b>                        | $1mmHg=133.322Pa$                                   |
|        |              | 巴            | <i>bar</i>                 | 兆帕斯卡                  | <b>MPa</b>                       | $1bar=0.1MPa$                                       |
| 3      | 重力密<br>度     | 千克力<br>每立方米  | <i>kgf/m<sup>3</sup></i>   | 牛 顿<br>每立方米           | <b>N/M<sup>3</sup></b>           | $1kgf/m^3=9.80665N/M^3$                             |
|        |              | 吨 力<br>每立方米  | <i>tf/m<sup>3</sup></i>    | 千牛顿<br>每立方米           | <b>KN/M<sup>3</sup></b>          | $1tf/m^3=9.80665KN/M^3$                             |
| 4      | 应力, 材料强<br>度 | 千克力每<br>平方厘米 | <i>kgf/cm<sup>2</sup></i>  | 牛 顿<br>每平方米<br>(帕斯卡)  | <b>N/M<sup>2</sup></b><br>(Pa)   | $1kgf/cm^2=9.80665\times10^4N/M^2(Pa)$              |
|        |              | 吨 力<br>每平方米  | <i>tf/m<sup>2</sup></i>    | 千牛顿<br>每平方米<br>(千帕斯卡) | <b>KN/M<sup>2</sup></b><br>(KPa) | $1tf/m^2=9.80665KN/M^2(KPa)$                        |
| 5      | 动力粘<br>度     | 千克力秒<br>每平方米 | <i>kgf·s/m<sup>2</sup></i> | 帕斯卡·秒                 | <b>Pa·s</b>                      | $1kgf·s/m^2=9.80665Pa·s$                            |
| 6      | 功            | 千克力米         | <i>kgf·m</i>               | 焦 耳                   | <b>J</b>                         | $1kgf·m=9.80665J$                                   |

附录二 名 词 解 释

| 序<br>号 | 本标准用<br>名 词 | 曾用名词  | 解 释                                                                                               |
|--------|-------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | 纯 水         |       | 指煮沸的蒸馏水，脱气水和离子交换水。                                                                                |
| 2      | 试样密度        | 试样容重  | 指试样的单位体积质量。                                                                                       |
| 3      | 平行测定        | 平行试验  | 指在同条件下，采用二个试样同时进行试验，属于专用术语。                                                                       |
| 4      | 称 量 盒       |       | 指称土质量时所用的各种尺寸的铝盒，一般盒质量恒定。                                                                         |
| 5      | 比 重         |       | 指土粒在105~110℃温度下烘至恒量时的质量与同体积4℃时纯水的质量之比，如按国家计量局计量单位中比重改成相对密度，则土工试验中换算公式均需修改，影响太大。为此将比重作为土工试验中的专用名词。 |
| 6      | 悬 液         |       | 指土粒与水的混合液                                                                                         |
| 7      | 颗粒分析        |       | 指通过机械或分析方法测定土定颗粒的组成，包括颗粒大小及分布情况。                                                                  |
| 8      | 密 度 计       | 比 重 计 | 指颗粒分析试验所用的土壤密度计，包括甲种和乙种。因此重改成相对密度，故比重计改成密度计。                                                      |
| 9      | 密度计刻度值      |       | 对甲种密度计表示在20℃时，1000ml 悬液内所含的干土量。对乙种密度计，表示在20℃时悬液密度。                                                |
| 10     | 固 结         |       | 指试样在某一压力作用下，随时面的排水过程。                                                                             |
| 11     | 试 样 帽       | 加 荷 帽 | 指固结试验、三轴压缩试验、膨胀试验中给试样传递压力的顶盖。                                                                     |
| 12     | 压 力 室       |       | 指三轴压缩试验中套在试样周围的受压容器，包括底座和压力罩。                                                                     |

续表

| 序号 | 本标准用名词 | 曾用名词 | 解 释                                    |
|----|--------|------|----------------------------------------|
| 13 | 不固结不排水 |      | 指试样在施加周围压力和增加轴向压力直至破坏的过程中不允许排水。        |
| 14 | 固结不排水  |      | 指试样在某一周围压力作用下排水固结，在保持不排水条件下增加轴向压力直至破坏。 |
| 15 | 固结排水   |      | 指试样在某一周围压力作用下排水固结，在允许排水条件下增加轴向压力直至破坏。  |
| 16 | 测 力 计  |      | 指强度试验时所用的钢环和荷重传感器。                     |
| 17 | 土的灵敏度  |      | 指原状试样的无侧限抗压强度与重塑试样的无侧限抗压强度之比。          |
| 18 | 快 剪    |      | 指试样在施加法向压力和剪切力直至破坏的过程中不允许排水。           |
| 19 | 固结快剪   |      | 指试样在某一法向压力作用下排水固结，在保持排水条件下施加剪切力直至破坏。   |
| 20 | 慢 剪    |      | 指试样在某一法向压力作用下排水固结，在允许排水条件下施加剪切力直至破坏。   |
| 21 | 空气孔隙比  |      | 土中空气所占体积与总的孔隙体积之比。                     |
| 22 | 滞 留 率  |      | 在重力作用下，饱和土中所保存的水的体积与总的孔隙体积之比。          |
| 23 | 滞水能力   |      | 通过重力疏干，土的含水量能降到的最小值                    |

## 附录三 本标准用词说明

一、执行本标准条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1. 表示很严格，非这样做不可的用词：  
正面词采用“必须”；  
反面词采用“严禁”。
2. 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：  
正面采词用“应”；  
反面词采用“不应”或“不得”。
3. 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样作的用词：  
正面词采用“宜”或“可”；  
反面词采用“不宜”。

二、条文中指明必须按其他有关标准进行的写法为“应按……进行”或“应符合……要求或规定”。非必须按所指定的标准进行的写法为“可参照……”。

附加说明

本标准主编单位、参加单位  
和主要起草人名单

主编单位：水利电力部  
交 通 部 南京水利科学研究院  
参加单位：铁道部第一勘测设计院  
水利电力部 水利水电科学研究院  
中国科学院  
水利电力部 长江科学院  
交通部公路科学研究所  
中国建筑科学研究院  
城乡建设部综合勘察研究院  
冶金工业部建筑研究总院  
主要起草人： 窦 宜 盛树馨 陶秀珍 朱福海 王幼麟  
王湘凡 朱思哲 周 汾 饶鸿雁 郑德容  
阎明礼 徐士峰 徐宏达 常葆镔